

Poblamiento, territorio y agua en el Valle de México

Fernando Pedro Greene Castillo

Poblamiento, territorio y agua en el Valle de México

Fernando Pedro Greene Castillo



Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información.
Nombres: Greene, Fernando, 1943-, autor.
Título: Poblamiento, territorio y agua en el Valle de México / Fernando Pedro Greene Castillo.
Identificadores: LIBRUNAM 2221962 (libro electrónico) |**ISBN** 978-607-30-8338-6 (pdf).
Temas: Urbanismo -- Valle de México. | Cuencas hidrográficas -- Valle de México. | Valle de México -- Historia.
Clasificación: LCC HT169.M62 (libro electrónico) | DDC 307.12160972—dc23
Disponible en https://repositorio.fa.unam.mx.
Primera edición: 2023


Federico Martinez Delamain
Edición
Silvia Sánchez Flores
Cuidado de la edición
Leticia Moreno Rodríguez
Formación, diseño, edición de imágenes
Emmanuel Martínez Ramírez
Apoyo en edición de imágenes y formación

Este trabajo se lo dedico a Ana Antonia Gondi Martínez, mi esposa, quien en todos los emprendimientos que he realizado en los cincuenta y siete años que hemos compartido la vida, siempre de manera incondicional me ha brindado todo su apoyo.

Índice

AGRADECIMIENTOS

La planeación y elaboración de este libro no era posible hasta en tanto la investigación denominada “La problemática del agua en la Ciudad de México”, que se desarrolla desde hace varios años en el Laboratorio de Planeación Urbana y Regional (LAPUR) del Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje (CIAUP) de la Facultad de Arquitectura (FA) de la UNAM, no tuviera el suficiente avance para posibilitar su escritura.

Se requería además del entendimiento pleno de este fenómeno y contar con la suficiente información cuantitativa a partir de la realización de ciertos experimentos para que de esta manera se pudiera tener certeza de lo que se pretende transmitir al público en general.

Por lo anterior, quiero manifestar, en primer lugar, mi agradecimiento a mi Facultad, a la Facultad de Arquitectura de la UNAM, en donde he encontrado mi casa por sesenta años y donde a través del CIAUP de la FA he podido realizar varios e importantes proyectos de investigación.

Para la fase de desarrollo de este libro agradezco la participación de Adrián Alvarado Carrión y Michelle Monserrat Solís García, dos de mis alumnos de la licenciatura en Urbanismo, quienes realizaron su servicio social adscritos al proyecto de investigación antes mencionado. Ellos se encargaron del diseño y puesta en marcha del Sistema de Información Geográfica que se requería para la elaboración de varios de los planos contenidos en este libro, y también prepararon fichas sobre temas específicos para ser considerados en la redacción de este documento.

A su vez, agradezco la participación de la ingeniera en Geofísica y pasante de la maestría de esa misma disciplina Lizbeth Espejo Arellano, quien contribuyó de manera importante en los capítulos donde se analiza el Valle de México y lo concerniente al acuífero, desde la perspectiva de su especialidad.

Por último, mi agradecimiento al doctor en Filosofía Gerardo Matías Greene Gondi, mi hijo, por su enorme esfuerzo para que este libro quedara lo mejor escrito posible.

PRESENTACIÓN

Xavier Cortés Rocha[1]

El libro *Poblamiento, territorio y agua en el Valle de México* constituye el resultado de una empresa de investigación de gran alcance, emprendida desde hace muchos años por el doctor Fernando Greene, uno de los más sólidos pilares del grupo de investigación de la Facultad de Arquitectura de la UNAM y quien ha sido por varias décadas un destacado profesor, referente y punta de lanza en gemas que apuntalan los aspectos técnicos del conocimiento sobre nuestras ciudades, como base para la planeación de su desarrollo.

La obra estudia la totalidad del Valle de México como receptáculo natural de la ciudad, su conformación orográfica y geológica, las cadenas de montañas que circundan el valle que la constituyen en una cuenca cerrada y los accidentes surgidos en su interior; también la morfogénesis y el carácter de la cadena volcánica que lo rodea. Da cuenta del origen de la ciudad de México-Tenochtitlan en el centro del sistema lacunario y su perfecta adaptación a ese sistema, situación alterada por los conquistadores a partir de la construcción y funcionamiento de la ciudad novohispana.

El libro reseña el lento crecimiento de la ciudad a lo largo del periodo virreinal y el siglo XIX, su acelerada expansión física y la conformación del área metropolitana durante el siglo XX y el actual; y lo hace relacionando el crecimiento espacial con el demográfico. Con esas variables analiza los cambios en el comportamiento de las densidades de población a lo largo del periodo.

[1] Profesor emérito de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde ha impartido cátedra por más de cinco décadas y fue director de la misma, por dos períodos. Desempeñó los cargos de coordinador general de Estudios de Posgrado de la UNAM, director general de Obras y secretario general.

El tema del agua fue el origen de la investigación y ocupa una parte muy importante del trabajo. Por esta razón, el estudio del acuífero del valle se estudia de manera muy extensa, tomando en cuenta el peso relativo que tiene en el abastecimiento de agua potable; y ofrece, así mismo, amplias consideraciones sobre las posibilidades que podría tener en el futuro el acuífero profundo.

El estudio del sistema de abastecimiento de agua potable abarca desde los que existían en el México virreinal con las fuentes de Chapultepec y Santa Fe, así como los que se construyeron en el periodo de gobierno de Porfirio Díaz y la primera mitad del siglo xx en el interior del valle, hasta los que se extendieron para reconvertir el sistema Cutzamala en productor de energía eléctrica y en abastecedor de agua potable para el área metropolitana de Ciudad de México. En este rubro, se pretende hacer conciencia sobre la importancia de educar para un menor consumo y para reutilizar el agua con el tratamiento adecuado en mayor y mejor medida que lo actual.

Por otra parte, uno de los temas torales de esta obra es el estudio profundo del desalojo de las aguas pluviales y de las aguas servidas, ya que, desmontado el sistema prehispánico de control de los niveles de los lagos, la ciudad fue víctima de grandes inundaciones y fue necesario estudiar la forma de evitarlo. Se abordan las aportaciones de expertos en obras de ingeniería en la época colonial, quienes propusieron importantes soluciones para desaguar el valle y conducir al exterior las aguas pluviales y servidas; así mismo, se destaca el estado que guardan otras obras de los siglos xix y xx y que aún hoy en día siguen en proceso.

La obra reseña y analiza la situación actual y plantea, a su vez, un pronóstico y una perspectiva a futuro. Como toda investigación de gran alcance es una labor de equipo, por lo que se da el crédito correspondiente. El libro está profusamente ilustrado con mapas, gráficas y fotografías, indispensables para acompañar y explicar los textos. Será un libro de referencia para urbanistas, estudiosos de las ciudades de nuestro país y para los que aspiren, como planificadores, a actuar sobre las mismas. Enhorabuena.

INTRODUCCIÓN

Sin suficiente agua ninguna ciudad puede prosperar.

Fernando Greene Castillo

Este libro, como ya se señaló, reporta los resultados de la investigación titulada "La problemática del agua en Ciudad de México" que se desarrolla en el Laboratorio de Planeación Urbana y Regional (LAPUR) del Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje (CIAUP) de la Facultad de Arquitectura (FA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El título de este libro, *Poblamiento, territorio y agua en el Valle de México*, da cuenta de la conexión de tres variables que se asocian en el tiempo y que resultan indispensables para entender la dinámica de crecimiento de cualquier ciudad.

Indudablemente, la superficie urbana de una ciudad por lo general está en función de la población que en ella habita, por lo que resulta importante para nuestro estudio el entendimiento de esta relación a lo largo del tiempo.

Por otra parte, se reconoce la concomitancia del aumento de población de una ciudad con relación a los mayores volúmenes de agua que se necesitan para satisfacer las demandas de este vital líquido. Esto conlleva a la necesidad de un libro que estudie cómo se ha dado el proceso de crecimiento histórico de Ciudad de México atendiendo cada una de estas tres variables.

Con relación a los tres temas que se abordan existen innumerables libros, mapas, documentos técnicos y hasta enciclopedias que han sido escritas por ingenieros, arquitectos, historiadores, sociólogos, antropólogos sociales, etcétera. Sin embargo, casi no existen documentos que pongan en juego el análisis de estas tres variables y que definen el título de este libro de manera conjunta.

En particular, sobre el tema del agua en Ciudad de México se encuentran disponibles numerosos documentos tanto impresos como en formato digital y que se pueden consultar en diferentes sitios de la red. Por el carácter eminentemente

técnico, en las últimas décadas la mayoría de estos documentos han sido escritos por expertos en ingeniería hidráulica o disciplinas afines y, salvo algunas excepciones, dicho tema no ha sido abordado por profesionistas de otras especialidades.

Por lo anterior, y dada la formación del autor de este libro en el área de la arquitectura y la planeación urbana y regional, se ponen de manera conjunta como temas de análisis: el poblamiento, el crecimiento territorial y la dotación de agua para Ciudad de México; y todo ello desde una perspectiva histórica, consultando la información que se encuentra disponible, la cual ha sido desarrollada por diferentes expertos en varias disciplinas. Esta obra no aspira por tanto competir en forma particular con las magníficas aportaciones de otros autores u otras formaciones disciplinarias, ya que toma de ellas la información que considera relevante para el cumplimiento de los propósitos de la presente investigación.

Por último, es deseo del autor que esta obra sea de utilidad para cualquier persona que pretenda enterase de esta problemática, y en particular para que los estudiantes de la arquitectura y del urbanismo dispongan de una fuente en la cual puedan aprender sobre el enorme problema que enfrenta y enfrentará Ciudad de México en el futuro. En última instancia, lo que se busca con la elaboración de este libro es que el mismo pueda aportar elementos que permitan resolver de manera satisfactoria y racional la demanda de agua para todos los habitantes de la ciudad.

EL VALLE DE MÉXICO

El Valle de México es una región geográfica localizada en el centro-sur del país. La cuenca de México es una altiplanicie lacustre con una elevación promedio de 2,240 msnm, la cual está rodeada por montañas volcánicas, abanicos y llanuras aluviales. Está localizada entre los meridianos 99°30´ O, 98°10´ O y los paralelos 19°10´ N, 20°10´ N (Carrera-Hernández y Gaskin, 2007).

La cuenca de México es una estructura tipo graben cerrada hidrológicamente por las montañas de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Demant,1978). Tiene un área aproximada de 9,600 km² (Carrera-Hernández y Gaskin, 2007), de la cual 1,507 km² abarcan la planicie central lacustre. La cuenca mide 100 km de largo y 80 km de ancho, con orientación noreste-suroeste (Arce, *et al*., 2019). Puede decirse que es una cuenca endorreica rodeada de elevaciones volcánicas como las sierras de las Cruces, Ajusco-Chichinautzin y Nevada, mismas que en algunos años se cubren con nieve y la última de ellas generalmente tiene nieves perpetuas. A su alrededor se encuentran los valles de Toluca, Puebla, Mezquital y del río Balsas.

La cuenca de México está integrada por 105 municipios de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala y las 16 alcaldías de Ciudad de México (CDMX). Incluye el área metropolitana de Ciudad de México y contiene los restos de los lagos de Texcoco y de Chalco. La Sierra de las Cruces, al oeste, se eleva arriba de los 3,000 m y al este los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl se elevan más de 5,000 m (Durazo y Farvolden,1989).

En la figura 1 se observa la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la mancha urbana de la CDMX y de los municipios conurbados de Estado de México, así como diversos asentamientos urbanos.

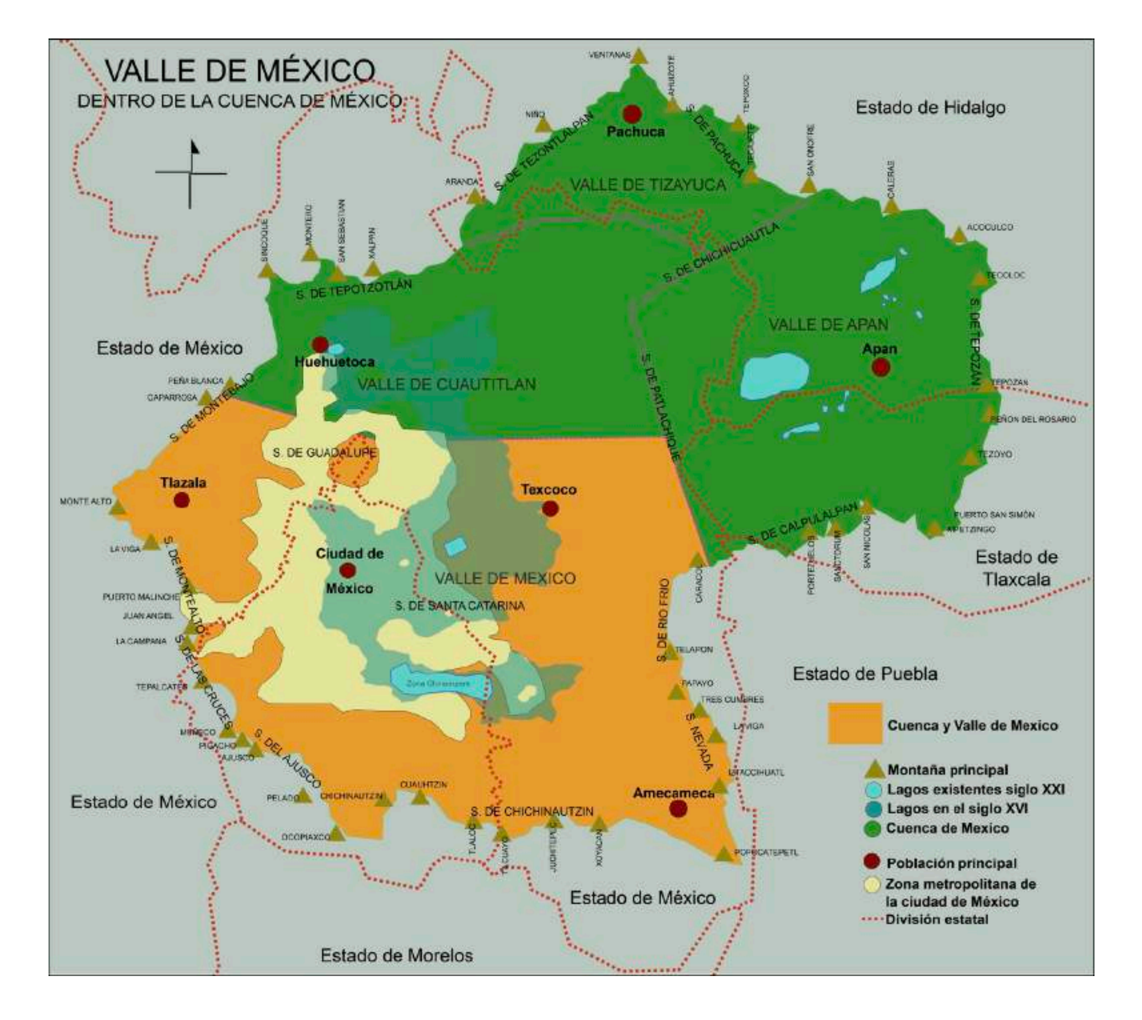


Figura 1. Valle de México, dentro de la cuenca de México.
Fuente: Saúl Ruiz Mora (Sarumo74), 2010: wikimedia.org/wiki/ File: Valle de_México_xxi. svg.

Formación de los lagos en el Valle de México

Se especula que la cuenca de México se formó hace aproximadamente 600,000 años debido a la formación de la Sierra de Chichinautzin, misma que bloqueó el paso del antiguo drenaje de los ríos Salado y Cuautla que escurrían hacia el Océano Pacífico. Con el nacimiento de esta nueva sierra se formó un espacio cerrado que actualmente se conoce como la cuenca del Valle de México.

A partir de ese momento y debido al arrastre de tierra-arcilla por los escurrimientos de agua de lluvia y deshielo provenientes de las montañas, se acarreó material sedimentario que se fue acumulando en la parte baja de la cuenca. Estos hechos, combinados con las cenizas causadas por las erupciones de los volcanes

que rodean el valle, produjeron un relleno de aproximadamente 70 metros de altura, desde el fondo del mismo hasta el fondo de los lagos que darían forma al sistema lacustre con el cual se encontrarían los primeros pobladores que se asentaron en el Valle de México.

Este fenómeno produjo que una parte del suelo del Valle de México se volviera impermeable, es decir, un suelo capaz de permitir la formación de lagunas. De ahí que a lo largo de 600 años se formaron los lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Posteriormente, al fraccionarse el Lago de Texcoco en dos partes por la construcción de un albarradón en la época del imperio Azteca, se creó el Lago de México y por ende, un sistema lagunar consistente de seis elementos.

Los lagos de Xochimilco y Chalco, localizados en la parte más baja de la cuenca, contenían vegetación flotante y eran de agua dulce, a diferencia de los lagos de Texcoco Zumpango y Alocan que por estar ubicados en la parte más alta de la cuenca tenían poca profundidad y suelos de agua salada.



Figura 2. Lagos del Valle de México.
Fuente: https://commons.wikipedia.org/wiki/File:Basin_of Mexico_1519 map-es.svg.

En época de lluvias, los excedentes acumulados de los lagos de Zumpango y Xaltocan se descargaban en el lago de Texcoco que por ser el más grande (con una superficie de aproximadamente de entre 700 y 1,000 km^2), así como por su ubicación, contenía una salinidad mayor a los otros debido a que recibía el agua del Zumpango. La única forma en que éste pudiera tener pérdidas del líquido era mediante evaporación e infiltración.

Clima

En cuanto al clima, en el Valle de México se identifican cambios climáticos desde hace un millón de años a raíz de la glaciación Nebraska que terminó hace 750,000 años, seguido por un periodo de clima caliente durante el primer interglaciar y después la segunda glaciación denominada glaciación de Kansas (Santoyo, *et al*., 2005).

El clima del valle está influenciado por su elevación, su latitud (20ºN) y patrones de precipitación del Golfo de México y del océano Pacífico. Las temperaturas del valle oscilan entre los 25°C en verano y los -5°C en el invierno, estimándose una temperatura media anual de entre los 13ºC y los 17ºC, por lo que se considera que tiene un clima templado.

Debido a las características topográficas del valle, el clima es templado en los valles altos de la parte noroeste del Estado de México, así como en el centro y al este de la subregión Valle de México. En la porción centro-norte del Estado de México los climas son secos y semisecos. Particularizando sobre la clasificación de los dos tipos de clima tenemos: clima Templado Subhúmedo (Cb (Wo) (W)) y clima Templado Subhúmedo (Cb (W2) (W)).

El clima Templado Subhúmedo (Cb (Wo) (W)) es la variante menos húmeda de los templados, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor del 5%. Se localiza principalmente en la mayor parte de Ciudad de México, así como en la porción central y oriente del Estado de México, primordialmente en parte de los municipios de Chalco, Ixtapaluca, La Paz, Texcoco, Atenco, Tepetlaoxtoc y Otumba; se localiza también en la mayor parte de los municipios de Emiliano Zapata, Apan, Almoloya, Tepeapulco, Tlanalapa y Zempoala del estado de Hidalgo.

El clima Templado Subhúmedo (Cb (W2) (W)) es el más húmedo de los templados con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor del 10%. Se localiza principalmente en la porción occidental del Estado de México, en los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapán de Zaragoza, Jilotzingo, Nicolás Romero, Tepotzotlán, Villa del Carbón, Morelos, Chapa de Mota y Jilotepec, entre otros. La precipitación media anual para el acuífero es de 768.5 mm.

La cuenca de México desde un punto de vista geofísico

Marco tectónico y geológico

La cuenca de México está ubicada al este de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La FVTM es el arco volcánico continental más grande del periodo geológico del Neógeno en Norteamérica, y la cual mide 1,000 km de largo y tiene una orientación E-O que intercepta México desde Veracruz al este, hasta Nayarit al oeste. La FVTM es el resultado del hundimiento (subducción) de la Placa de Cocos y Rivera debajo de la Placa Norteamericana. La cuenca está delimitada al oeste por la cordillera volcánica de Sierra de las Cruces, al este por la cordillera volcánica de Sierra Nevada (la cual incluye los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl, Telapón y Tláloc), al sur por la Sierra Chichinautzin y al norte por el campo volcánico Apan-Tezontepec.

Los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl están formados por recientes flujos de lava y fragmentos de material volcánico no erosionados con alta permeabilidad que permite la filtración de la mayor parte de la precipitación. La Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada están formadas principalmente por rocas volcánicas de composición intermedia y se observan depósitos de materiales y flujos volcánicos.

Las pendientes son tan abruptas que no permiten la acumulación de sedimentos en horizontes de suelos profundos. Algunos pequeños valles en las regiones montañosas presentan depósitos aluviales, los cuales no ocurren en ningún otro lugar de la cuenca. Los abanicos aluviales separan las montañas de la planicie lacustre.

En este marco, el agua subterránea se encuentra a una profundidad mayor de 50 metros, lo cual indica alta permeabilidad y altas tazas de filtración. En los canales modernos no se observa deposición ni grandes deltas o abanicos asocia-

dos a éstos, y el material erosionado de grano fino es llevado desde las montañas hasta la planicie.

La figura 3 expone un esquema conceptual de las profundidades aproximadas del Valle de México alrededor del siglo XVI, y en donde se observa la cuenca con los lagos existentes.

Podríamos definir a la cuenca de México como una depresión téctono-volcánica que comenzó a formarse en el periodo Cretácico, cuando las rocas calizas y continentales se fueron depositando sobre la superficie terrestre. Las rocas fueron fracturadas durante este largo periodo de formación de montañas.

La primera etapa en el desarrollo de la cuenca de México fue complementada durante el periodo Eoceno-Oligoceno y Mioceno a partir del depósito de productos volcánicos asociados al Grupo Balsas, Sierra Madre Occidental y la actividad temprana de a FVTM. Las rocas de Tepoztlán y la Sierra de Guadalupe estarían asociadas a estas primeras etapas de actividad de la FVTM.

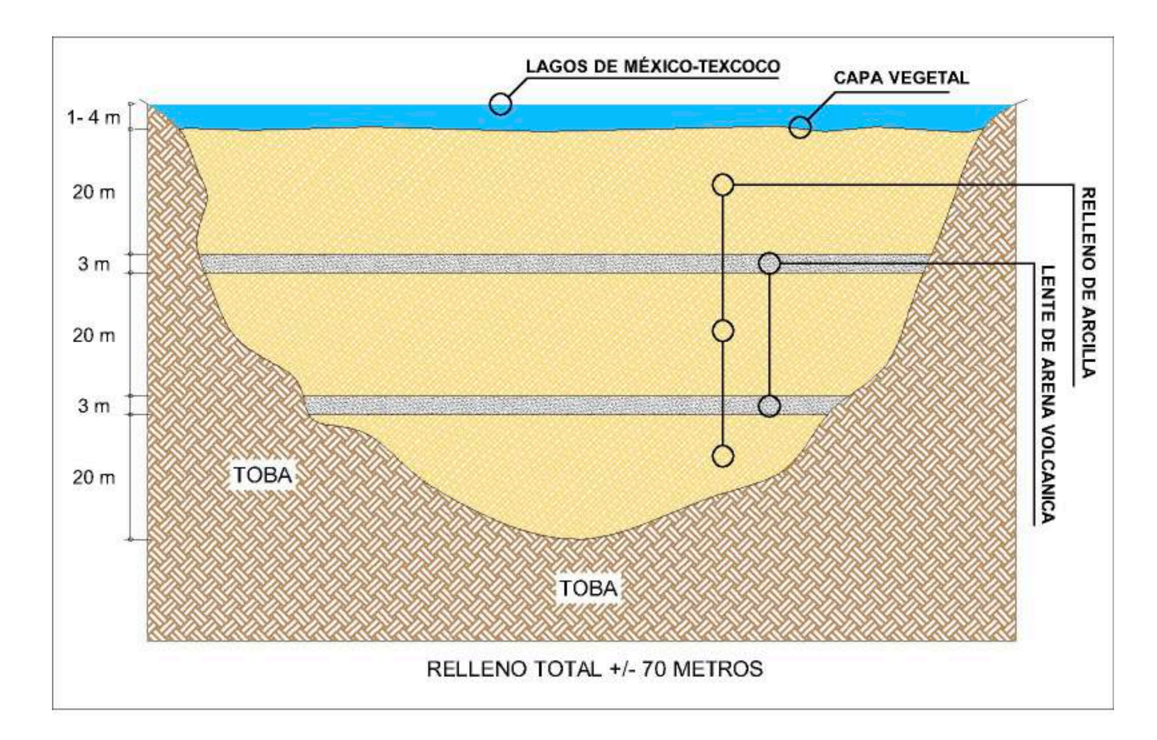


Figura 3. Profundidades aproximadas del Valle de México.
Fuente: Fernando Greene Castillo, 2021.

El segundo evento tectónico de consideración ocurrió durante el periodo del Mioceno, cuando la falla normal Mixhuca probablemente produjo una serie de elevaciones y depresiones (horsts y grabens) con orientación NO-SE, siendo la Fossa Roma la formación más relevante. La base de la Sierra de las Cruces ocurrió dentro de esta formación geológica, comenzando durante el periodo del Plioceno y continuando hasta el Pleistoceno tardío (Aguirre-Díaz y Carranza-Castañeda, 2000; Arce, *et al*., 2008; García-Palomo, *et al*., 2008; Mejía, *et al*., 2005; Osete, et al., 2000).

Durante el Pleistoceno ocurrió el tercer evento tectónico más relevante asociado a la deformación terrestre de la zona de Tenochtitlan con fallas orientadas NE-SO afectando la Sierra de las Cruces, Sierra de Guadalupe, y el campo volcánico Apan-Tezontepec. Este sistema orientado al NE-SO ha estado activo desde hace 5 millones de años y los sismos de baja magnitud asociados con el movimiento de este sistema de fallas lo constatan (De Cserna, et al., 1988).

El sistema de fallas E-O que afectan a los campos volcánicos del Chichinautzin y Apan-Tezontepec, podría ser la causa de la formación del campo volcánico Chichinautzin, cuya consolidación, durante el Pleistoceno temprano, cerró el drenaje, lo que propició, hacia el sur, la formación de un gran lago (Texcoco y Chalco). Al correr de los siglos, este lago se fue rellenado a raíz de las frecuentes erupciones volcánicas provenientes de las diversas cordilleras que rodean a la cuenca.

Las fallas relacionadas con este sistema son: La Pera, Xochimilco, el graben de Santa Catarina y Tenango.

La cuenca de México está cerrada al sur por la Sierra Chichinautzin, una cresta que se levanta 700 metros por arriba del piso del Valle, formada principalmente por flujos volcánicos de los periodos Cuaternario y Reciente, con conos piroclásticos de varios tamaños diseminados a lo largo de la sierra. El terreno es abrupto y casi no tiene canales de corriente, tampoco se observa mucha erosión.

Las rocas son extremadamente permeables, más que las de las otras montañas, así como los depósitos de abanicos aluviales, por lo que la filtración es muy alta.

Al norte, la cuenca se encuentra cerrada por colinas de piedra volcánica, o tobas, del periodo Terciario, así como por flujos basálticos del periodo Cuaternario con sedimentos intercalados. La caliza del periodo Cretácico se encuentra a una profundidad de 2,000 metros por debajo del piso del Valle de México.

La cuenca de México comprende las subcuencas Apan al noreste, Zumpango al noroeste y Chalco al sureste. La cuenca del Valle de Texcoco representa la parte más baja del piso del Valle, y recibe el desbordamiento de otros lagos durante las temporadas de drenaje intenso. En esta parte del Valle subyacen 100 metros de caliza lacustre con algunas rocas volcánicas que sobresalen.

Formación de suelos

La formación de los suelos de acuerdo con Santoyo (Santoyo, 2005) desde el momento en que se cierra y se conforma la cuenca, se llegan a relacionar con ella dos periodos interglaciares y dos glaciaciones. El interglaciar Yarmouth, de hace 400,000 a 600,000 años, fue seguido por la glaciación Illinois. Sangamon fue el tercer periodo interglaciar, y posteriormente se dio la cuarta glaciación llamada Wisconsin, que concluye cuando inicia el periodo Holoceno o Reciente, hace casi 10,000 años. Los suelos de la planicie lacustre del Valle de México se formaron durante los periodos Pleistoceno y Holoceno, y duraron 1,000,000 y 10,000 años respectivamente. El área de los glaciares que existe actualmente en el Popocatépetl e Iztaccíhuatl era tres veces mayor durante el periodo del Pleistoceno, y esto a causa de los diferentes cambios climáticos. Durante épocas húmedas, las glaciaciones provocaron una considerable extensión de bosques, y en épocas secas se dio una reducción de los mismos. Con respecto al nivel actual, el mar se elevaba hasta 25 metros y descendía hasta 90 metros. En cuanto a la actividad volcánica, la última gran intensidad dio lugar a la formación de la Sierra de Santa Catarina, hace unos 28,000 años.

Los suelos arcillosos blandos se produjeron por la alteración fisicoquímica de los materiales aluviales y las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre con un alto contenido de microorganismos y vegetación acuática. Durante este proceso se suscitaron dos tipos de interrupciones, una en donde el nivel del lago descendió y se formaron costras endurecidas por deshidratación inducida por secado

solar, y otras interrupciones breves originadas por una fuerte actividad volcánica que cubrió toda la cuenca con arenas basálticas. Eventualmente, durante los periodos de sequía, también ocurrieron erupciones volcánicas que formaron costras duras cubiertas por arenas volcánicas. El espesor de dichas costras duras fue variando de acuerdo con las condiciones topográficas del fondo del lago, con mayor espesor hacia las orillas del vaso y casi desapareciendo en el centro del antiguo lago de Texcoco, lo cual indica sequías escasas y breves.

Con relación al depósito de los suelos, estos últimos alcanzaron 1 m por cada 4,000 años. La edad de la costra superficial podríamos aproximarla a los 8,000 años, y está asociada con los mamuts encontrados en el norte del valle con una edad aproximada de 11,000 años.

Como suelos característicos a los periodos interglaciares *Yarmouth* y *Sangamon* se observan tobas rojizas arcillosas o suelos duros, como los de Las Lomas, y que podríamos describir como polvo volcánico depositado en un clima caliente con actividad fitológica (vegetal) intensa. Durante los deshielos, los arroyos y los ríos crecieron considerablemente, ocasionando depósitos fluviales que pueden ser observados en varios puntos como en el caso de Las Lomas, y en la transición a la planicie central, donde se hallan extensos abanicos aluviales como los de Río Hondo. Algunos se encuentran debajo de las arcillas y llegan a penetrar hasta 10 km dentro de la planicie.

Asimismo, existen formaciones hidrotermales intercaladas con arcilla que se relacionan con las calizas al pie de las montañas en el norte de la zona lacustre, así como a ambos lados de la sierra de Santa Catarina, las cuales se formaron por la precipitación de carbonatos al momento en que los manantiales de agua caliente eran muy activos.

En el Peñón de los Baños, en el Pocito de la Villa de Guadalupe, al pie del volcán San Nicolás y en el Cerro de la Estrella (20 m profundidad y 2 m espesor) se encuentran, en varios niveles del subsuelo y en la superficie, depósitos duros de carbonato de calcio. En los suelos profundos del Peñón de los Baños se observa una mayor temperatura, provocada por las aguas termales de principios de este siglo.

Con relación a los sedimentos que cubren la cuenca, nos encontramos con arcillas lacustres compresivas con alto contenido de agua. En el subsuelo se pueden identificar cuatro antiguos lagos con mantos de sedimentación de arcillas, siendo el estrato superior de suelo blando, el subyacente menos blando y los dos estratos profundos conformado por arcillas duras. La estructura de las arcillas está caracterizada por la presencia de iones de sodio y se encuentran depositadas como conjuntos (flóculos) de partículas minúsculas a lo largo de ambientes de diferente salinidad. Cabe aclarar que los lagos de Texcoco y México eran de aguas saladas, mientras que Chalco y Xochimilco eran dulces.

En cuanto a la edad de las arcillas, existen dos horizontes que se relacionan con el periodo geológico identificado como Pleistoceno medio. Durante el más antiguo de estos horizontes, el lago era de agua dulce con clima templado húmedo y bosques de pino y encino. Los suelos presentaron un incremento de salinidad conforme el nivel del lago se redujo y dichos suelos se depositaron a lo largo de un clima frío y con la presencia de una flora herbácea. Al final de este periodo, el clima cambió a un tipo de clima templado, el lago subió su nivel y aparecieron extensos bosques de pino. Con relación a los suelos del Pleistoceno superior, estos se poblaron de pinos, encinos y álamos. En los periodos más húmedos, los bosques alcanzaron una considerable frondosidad y en los menos húmedos predominaron el pino y el roble. Progresivamente el lago se fue volviendo más salino por la influencia climática e hidrotermal con tendencia gradual árida (Santacruz, 1984).

Geología histórica del Valle de México

La corteza terrestre de la cuenca tiene unos 230 millones de años, desde el periodo Triásico hasta el Reciente. Se cree que la corteza terrestre se encontraba dividida en dos fragmentos de placa continental y que la parte sur era diferente al resto de la masa continental. La actividad volcánica durante el periodo Jurásico originó la formación llamada Taxco Viejo, que impactó el centro y poniente meridional de México. Asimismo, un proceso tensional y de hinchamiento con hundimiento central con dirección suroeste abrió el Golfo de México, produciendo efectos de cuña sobre el suroeste del mismo en el norte de Veracruz. También

originó fracturamientos paralelos y, subsecuentemente, la formación de un protoeje volcánico relacionado con la división que existía en la corteza terrestre. La apertura del golfo, además de quebrar la región central de México, pudo haber ejercido un esfuerzo de cuña en la porción del istmo.

Después, a principios del periodo Terciario, hace aproximadamente unos 55 a 65 millones de años, se crearon los pliegues laramídicos con sedimentos mesozoicos, originando finalmente la Sierra Madre Oriental. Posteriormente, en el periodo del Oligoceno, la subducción de la Placa de Farallón en el Pacífico produce las vulcanitas ácidas de la Sierra Madre Occidental. A su vez, la Trinchera de Acapulco también se hunde o subduce desplazando Centroamérica hacia el oriente, y durante el periodo del Mioceno Inferior el empuje, al norte de la masa de Oaxaca genera su cabalgadura y se van formando los Pliegues Oaxaqueños. Al mismo tiempo, la masa de Chiapas también se desplaza al norte comprimiendo sus sedimentos y creando cabalgaduras y pliegues, lo cual originó los pliegues de la Sierra de Chiapas. El último evento en el continente moderno fue la separación de Baja California por la aparición de una fosa tectónica o *rift*. Durante el periodo Jurásico, la apertura del golfo sobre la corteza continental formó un levantamiento extenso que después fue ocupado por la Sierra Madre Oriental, con fracturas perpendiculares orientadas al este-noreste que originaron una fosa tectónica ancha. Este tectonismo en la parte sur domina los grandes volcanes, desde el Pico de Orizaba hasta el Nevado de Toluca, y dio lugar a grandes calderas y colapsos en la parte norte.

Originalmente, el drenaje de la cuenca corría en dirección al Pacífico y el Golfo de California, pero durante el periodo Cuaternario Superior, hace unos 600,000 años, la actividad volcánica de la Sierra Chichinautzin cerró la cuenca. Los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl surgieron como resultado de los flujos de lava y expulsión de material piroclástico sin erosionar, que por su alta permeabilidad permitió la filtración de la mayor parte de la precipitación.

EL ACUÍFERO DEL VALLE DE MÉXICO

Antiguos ríos

En el pasado, el Lago de Texcoco estaba localizado en la parte más baja del Valle de México y era alimentado por arroyos y ríos entre los cuales se encuentran Cuautitlán, Tepotzotlán, Magdalena Contreras, Tlalnepantla, Remedios, Avenidas de Pachuca, Texcoco, Amecameca y Tlalmanalco. También se alimentaba de manantiales que brotaban en Chalco y Xochimilco; del agua dulce de Chapultepec, Xochimilco, Churubusco, Coyoacán y Santa Fe; de las aguas amargas de Iztapalapa y las aguas termales de Peñón de los Baños y Pocito de Guadalupe.

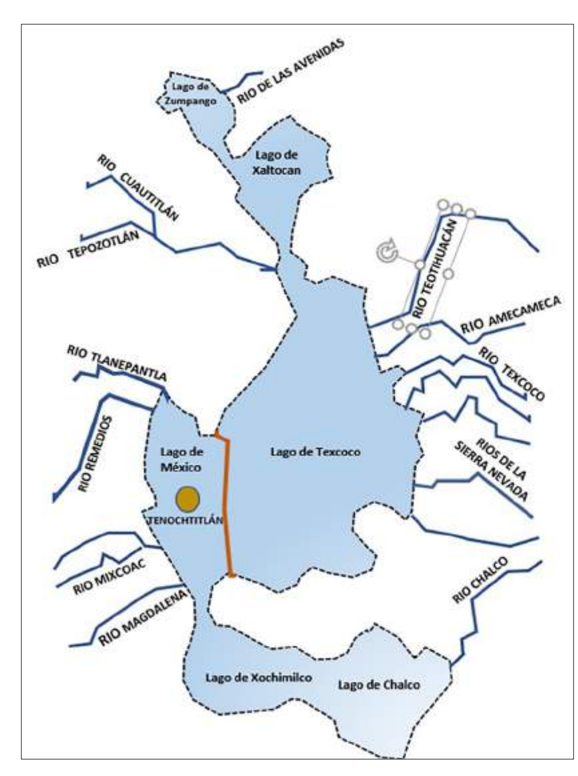


Figura 4. Antiguos ríos del Valle de México.
Fuente: Fernando Greene.

El acuífero es generado por la filtración y circulación de agua subterránea en las rocas volcánicas y aluviones permeables en el subsuelo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, el Valle de Texcoco al noreste y el Valle de Chalco al sureste. El acuitardo es una capa de arcillas lacustres de 20-60 metros de espesor que cubren al acuífero y lo confinan, se encuentran saturadas y tienen reducida permeabilidad.

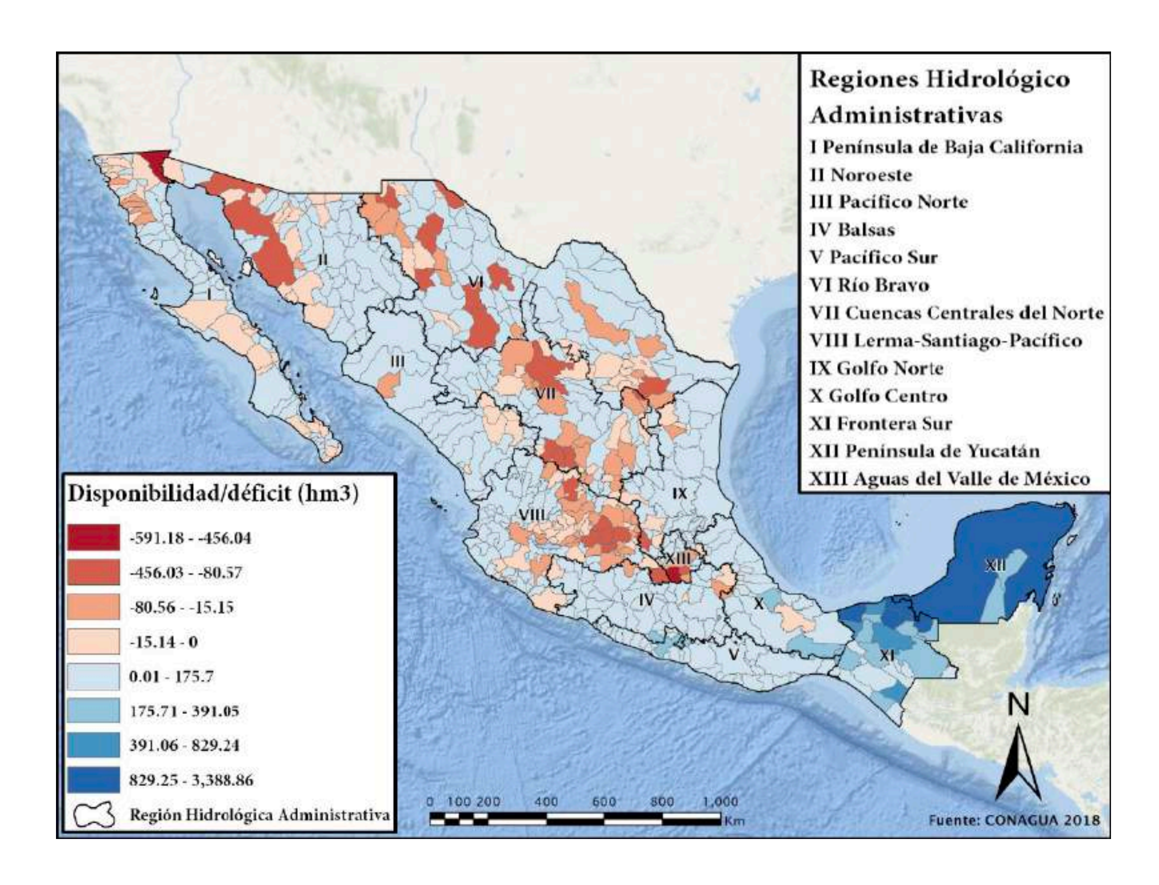


Figura 5. Disponibilidad / Déficit de los acuíferos de México en el año 2014. Fuente: Conagua, 2014

En el centro del Valle de México el acuífero se encuentra semiconfinado, ya que el nivel piezométrico se localiza a la altura de las arcillas lacustres. En la zona occidental y oriental del Valle el acuífero funciona como libre porque su nivel piezométrico se encuentra bajo las arcillas.

Acuíferos del Valle de México

En la República Mexicana (Conagua, 2014) se aprecian 13 Regiones Hidrológicas, la denominada "Aguas del Valle de México", se clasifica como de mayor déficit en términos de disponibilidad. En los acuíferos que se localizan en el Valle de México y su clasificación por disponibilidad en el año 2018, se destaca la bajísima disponibilidad de agua, medida en déficit al acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

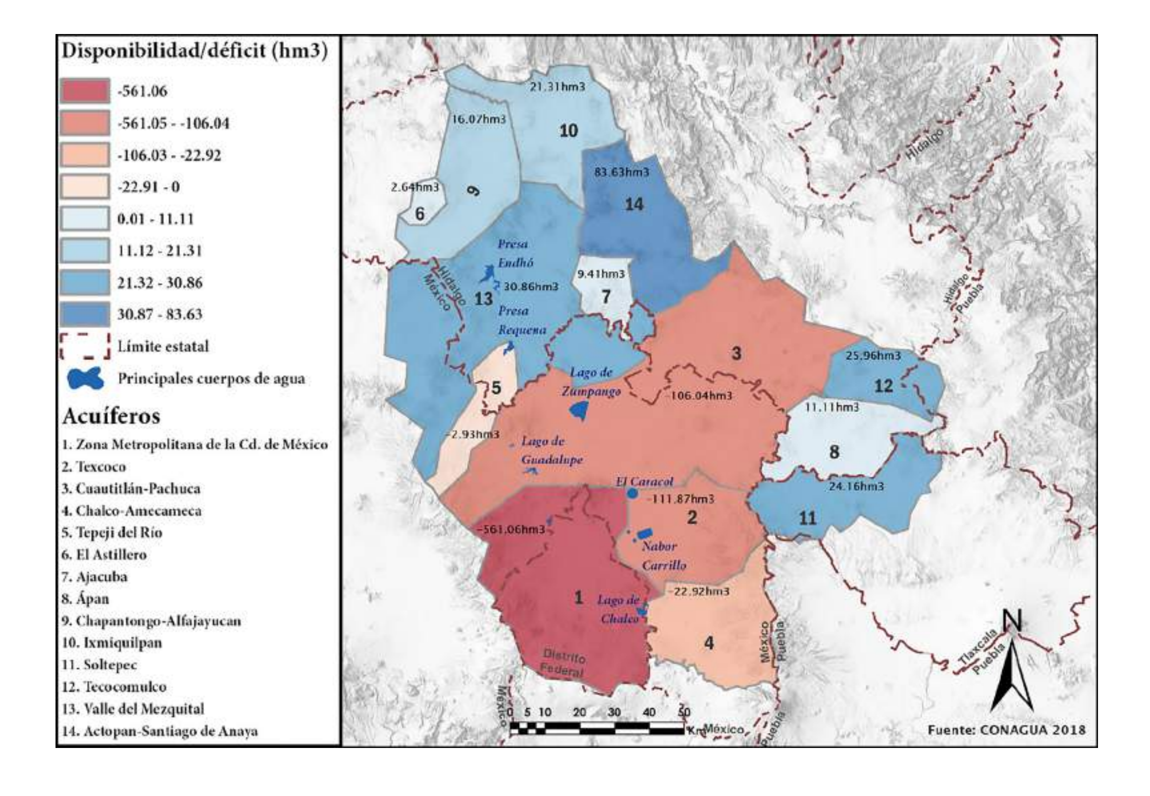


Figura 6. Disponibilidad / Déficit de los acuíferos de México en el año 2014. Fuente: Conagua, 2014.

En el estudio realizado por Hernández-Espríu (2014), el consumo de agua fue de 61.6 m^3/s, del cual 66% era extraído de pozos. La mayor parte de la extracción proviene del complejo acuífero fracturado del Cuaternario-Terciario con materiales aluviales y piroclastos, cubierto por un acuitardo lacustre compresivo.

En Ciudad de México operan 680 pozos (Hernández-Espríu, *et al.*, 2014) y se encuentran localizados a una profundidad de 100-994 m. La extracción sistemática ha excedido la recarga natural y esto ha ocasionado una

subsidencia (deformación de la superficie terrestre) de 1.4 m/año (Lesser y Asociados, 2003), así como la consolidación de depósitos lacustres, la inversión del gradiente hidráulico vertical, y que el agua subterránea fluya hacia abajo desde el acuitardo hasta el acuífero y variaciones temporales en firmas isotópicas hidrogeoquímicas (Huizar-Álvarez, et al., 2004).

La explotación del acuífero de la cuenca ha causado problemas de subsidencia. Desde principios del siglo XX hasta 1938, el índice de subsidencia era de 4.6 cm/año y se incrementó en la siguiente década a 16 cm/año (NRC, 1995). En ese momento, las autoridades determinaron cerrar los pozos localizados en el centro de la Ciudad debido a que la extracción de agua era la principal causa de la subsidencia. De esta forma el índice bajó a 7.5 cm/año, y para finales de 1980 su valor era de 4.5 cm/año (Mazari y Alberro, 1990). La subsidencia neta en el último siglo ha decrecido en la zona central del área urbana y es mayor a 7.5 m (NRC, 1995; Figueroa-Vega, 1984) mientras que en Azcapotzalco su valor es mayor a 30 m (Birkle, *et al.*, 1998). La extracción de agua subterránea en la cuenca de Ciudad de México es del orden de 50 m^3/s a través de obras hidráulicas, predominando pozos con profundidades superiores a 100 m (Lesser y Asociados, 2005).

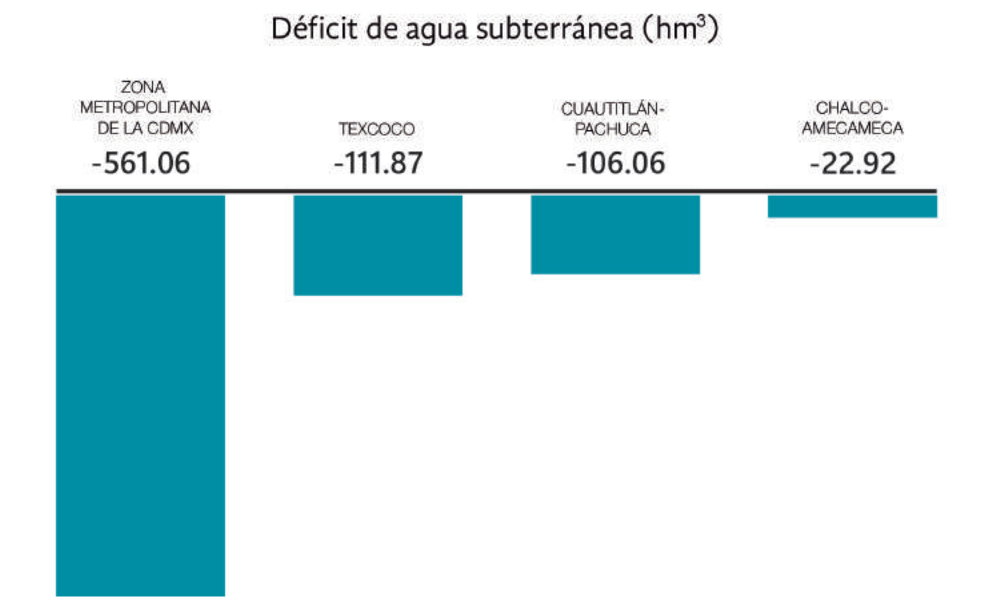


Figura 7. Déficit de agua subterránea.

En el antiguo vaso del ex lago de Texcoco casi no existe explotación y presenta un gradiente hidráulico suave. La cuenca es cerrada y drenada de manera artificial a través del Gran Canal de Desagüe y del Emisor Central. A la altura del aeropuerto internacional, la extracción ha provocado el abatimiento de los niveles estáticos y un flujo subterráneo que circula hacia dos conos piezométricos dentro de la ciudad.

De acuerdo con Lesser y Asociados (2005), el sistema acuífero de Ciudad de México se encuentra sobreexplotado en 56.6%, el área de Texcoco en 65.1%, mientras que el Valle de Chalco en 36.3%.

Como se dijo antes, un porcentaje importante del agua que utiliza la Ciudad se extrae del acuífero existente en el subsuelo de la misma, sin embargo, no es el único sobreexplotado con este fin. La ZMVM también se abastece de otros acuíferos como el Cuautitlán-Pachuca, Texcoco y Chalco-Amecameca. No obstante, dichos acuíferos se encuentran sobreexplotados, pues el ritmo a partir del cual se recargan con las lluvias es mucho menor al de suextracción, como se puede ver en la tabla se aprecia graficamente el déficit de agua subterránea.

La situación en el resto de los acuíferos que pertenecen a la Región Hidrológico-Administrativa (RHA) XIII es diferente, pues el del Valle del Mezquital (estado de Hidalgo) cuenta con más de 30 hm^3 de almacenamiento y en el resto se encuentran cantidades abundantes de agua, las cuales se piensa aprovechar para abastecer a Ciudad de México y reducir la carga que sufre su acuífero principal.

Pozos de agua para abastecer a la AMCM

La explotación del acuífero comenzó en 1847, cuando se perforó el primer pozo (Ortega y Farvolden, 1989). Para 1899, un total de 1,070 pozos fueron usados para extraer agua (Marroquín-Rivera, 1914), este número ha aumentado en el último siglo.

Pozos someros 2009-2019

Año 2009

En la figura 8 (Escolero, Kralisch, Martínez y Perevochtchikova, 2016), se advierte el número de pozos de cada fuente en 2009, así como las aportaciones de abastecimiento de agua del AMCM.

Fuente	Sistema	Operador	Área de captación	Edad	Aportación
Pozos SACMEX	549 pozos en la zona urbana, México D.F	SACMEX	Acuífero (Zona Metropolitana de la Ciudad de México)	30-60 años	14 m^3/s
Batería Chiconautla	41 pozos		Acuífero (Cuautitlán-Pachuca)	>50 años	1.33 m^3/s
Sistema PAI	156 pozos distribuidos en 7 ramales o baterías	OCAVM	Acuífero (Cuautitlán-Pachuca) y Acuífero Texcoco	>40 años con reposiciones posteriores	2.83 m^3/s
Captación de manantiales	18 manantiales	SACMEX	Sierra de Ajusco, Sur de la CM	>30 años	0.8 m^3/s

Figura 8. Resumen de las fuentes de abastecimiento a la Ciudad de México.
Fuente: Conagua, 2009.

El Sistema PAI se refiere a sistemas de pozos adicionales (pozos PAI), construidos para coadyuvar a la demanda del AMCM.

En cuanto al abastecimiento de agua, resulta muy importante recordar que los sistemas Cutzamala y Lerma aportaban en 2009 aproximadamente 16 m^3/s. De hecho, en el artículo mencionado se destaca que este último sistema contaba con 250 pozos en el último año señalado.

Año 2011

Con relación al recurso de revisión recurrente número 1048/2011 interpuesto por el Sr. Armando Castro ante el Instituto de Acceso a la Información Pública del D.F., sobre diversos temas relativos al agua, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), el 4 de agosto del 2011, respondió lo siguiente:

1. "El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), cuenta con 454 pozos de extracción de agua potable en el Distrito Federal, [...] El Sistema de Aguas de la Ciudad de México, no cuenta con pozos de inyección," esta cantidad de pozos es menor a la reportada por Conagua en 2009.

2. "Asimismo, el agua proveniente del Sistema Cutzamala es distribuida en el Distrito Federal en las Delegaciones Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Cuajimalpa, Cuauhtémoc, Iztapalapa, Iztacalco, Coyoacán, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tlalpan, Tláhuac y Venustiano Carranza." Esto quiere decir que Sacmex no proveía de agua a las siguientes tres delegaciones: Gustavo A. Madero, Milpa Alta y Xochimilco.

Año 2012

En una entrevista con el diputado del PRD Carlos Augusto Morales, presidente en esa época, de la Comisión de Desarrollo Metropolitano de la Asamblea Legislativa del D.F., éste declaró: "Se estima que en la ZMVM existen cerca de 4,500 pozos de extracción de agua, de los cuales la mitad opera de manera clandestina, es decir, que por cada pozo registrado hay otro irregular", y consideró "que más allá del debate de si habrá o no sequía en el Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) debe actuar de inmediato y frenar esta situación".

El diputado también detalló que "existen cálculos que señalan que de estos pozos ilegales se extrae una tercera parte del líquido que circula a través de las redes de agua potable en la capital del país, la mayoría de las veces esto lo hacen empresas particulares, lo que he denunciado desde hace tres años, sin que las autoridades federales hayan hecho algo al respecto".

Continuó diciendo que "en la Ciudad de México actualmente [se refiere a 2012] se extrae un caudal de 22,000 litros por segundo, de los cuales 14,950 litros por segundo provienen de los pozos, de los sistemas La Caldera y Barrientos 3,050 litros por segundo, y de Lerma 4,000 litros por segundo".

El legislador continuó exponiendo: "Lo grave es que la delegación Iztapalapa, donde hay la mayor escasez de agua, es también la que más resiente la sobreexplotación de los mantos acuíferos por los pozos clandestinos, pues en su territorio existen alrededor de 1,600 legalmente instalados y un número similar sin autorización, lo que acelera el hundimiento del suelo y la aparición de grietas."

También señaló que "lamentablemente el Sacmex no es competente ni tiene facultades para investigar y sancionar a quienes extraen el líquido de pozos no autorizados, por lo que, desde el ámbito federal, se deben promover reformas a la *Ley de Aguas Nacionales* para que los gobiernos de las entidades federativas puedan intervenir al respecto". Finalmente, consideró que "hasta ahora ha sido una irresponsabilidad de la Conagua que, mientras se habla de una posible sequía ante el retraso de las lluvias y de cortes del suministro del recurso, continue permitiendo la operación de estos pozos clandestinos, que contribuyen a la escasez."

Año 2019

Bernardo Carmona Paredes, coordinador general del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), señaló que "en el 2019 existían poco más de 800 pozos abastecidos de los acuíferos que se localizan bajo la Ciudad de México". Probablemente se refería a toda el zmcm, pues es una cantidad similar a los 746 pozos reportados en 2009 por Conagua, incluyendo los pozos Sacmex, los pozos Chiconautla y los del Sistema PAI. De estos 800 pozos se señaló que 38 se estaban rehabilitando y reponiendo para aumentar la entrega en 40 litros por segundo.

Como puede apreciarse por lo descrito anteriormente, resulta sumamente difícil definir la cantidad exacta de pozos someros que contribuyen a la dotación de agua a la ZMCM.

Pozos profundos 2020

Existen cinco pozos profundos (figura 9),cuyo costo osciló entre los 70 y los 100 millones de pesos. Estos pozos, con base en su profundidad, se pueden clasificar de la siguiente forma (Sacmex, 2020):

LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD
San Lorenzo Tezonco	2,000
Vivero Nezahualcóyotl	2,030
Agrícola Oriental 2B	2,000
Agrícola Oriental 2C	1,570
Mirador 2 Cerro de la Estrella	En "stand by"

Figura 9. Clasificación de pozos de acuerdo con su profundidad. Fuente: Sacmex 2020.

Transporte del agua

De acuerdo con Durazo y Farvolden (1989), el hecho de que exista agua subterránea en la cuenca se debe a que el valle era una zona de descarga. Esta información se ha podido constatar con patrones químicos de agua subterránea y con los gradientes ascendentes, los manantiales termales y las freatofitas. La cuenca es un ejemplo del sistema del flujo gravitacional de aguas subterráneas, ya que las montañas son la única posible zona de recarga (Von Humboldt, 1822; Marsal y Mazari, 1959; Mooser, 1963).

La Sierra Chichinautzin, al sur, es una zona de recarga de agua subterránea muy permeable con un coeficiente de escurrimiento bajo. En la Sierra de las Cruces, al oeste, hay muchos cañones, túneles y cortes de carretera, donde se observa una capa de agua profunda, lo cual indica que las rocas son permeables y el índice de recarga es alto.

Existe en la cuenca un ejemplo de sistema balanceado: el lago de Zempoala drena hacia un desagüe adyacente y cuando las etapas de agua son altas el sistema se equilibra. El lago se encuetra a 3,850 metros y su captación es de aproximadamente 8 km^2.

La región montañosa con precipitación anual de 1,500 mm casi no tiene arroyos perianuales, pero tiene altos índices de filtración. Al este de la cuenca, la Sierra Nevada presenta un coeficiente menor de escurrimiento (DDG-SSP, 1983).

La Sierra Tezontlalpan, a lo largo de la parte norte de la cuenca, es menos permeable y los ríos son más propensos a inundarse. En los flujos de sistemas gravitacionales la mayor descarga ocurre donde hay un cambio abrupto de pendiente, o donde terminan las unidades permeables en la orilla del Valle (Durazo y Farvolden, 1989).

La aparición de manantiales en las calles de Ciudad de México durante las inundaciones (Von Humboldt, 1822) podría haber sido provocado por la descarga difusa sobre las arcillas lacustres y el almacenamiento subterráneo karstificado (alta permeabilidad y poco almacenamiento). Tales manantiales pudieron haber marcado el fin de la subsuperficie de alta permeabilidad de los flujos de basalto, extendidos desde las ramificaciones de la Sierra Chichinautzin. Los manantiales más grandes se encontraban al pie del Chichinautzin y de la Sierra de las Cruces.

El secado completo de los manantiales de Chapultepec y Xochimilco puede explicarse como una respuesta del reservorio a bombear solamente si los gradientes naturales eran muy bajos.

Las aguas subterráneas salinas están limitadas a la región del Lago de Texcoco y la porción central del Valle, la acumulación de sal pudo haber empezado con la acumulación de arcillas lacustres y debió terminar con el cierre de la cuenca por los flujos de lava de la Sierra Chichinautzin, hace 40,000 años (Mooser, 1963). Los fósiles en las arcillas son evidencia de los cambios en el clima y ambiente sedimentario, y algunos intervalos de desecación del suelo.

Recarga del acuífero

El acuífero es recargado por filtraciones de la precipitación, actuando como importantes áreas de recarga las sierras circundantes. La precipitación media anual varía de 400 a 600 mm en la parte baja de la Cuenca, en los lomeríos circundantes la precipitación está entre 700 y 1,000 mm, y en las sierras que limitan la Cuenca las precipitaciones son mayores de 1,000 mm anuales (Conagua, 2015).

La Sierra Chichinautzin es la zona de recarga más importante del acuífero por la filtración de lluvias en sus basaltos y piroclastos con alta permeabilidad y por la gran cantidad de fracturas.

En el centro y poniente de Ciudad de México predominan arenas, tobas y cenizas que alojan un acuífero. En el sur y sureste el acuífero se encuentra en basaltos y piroclastos con la más alta permeabilidad de la zona y materiales granulares, arenas, tobas y cenizas con permeabilidad media.

Substistemas del acuífero y recarga del mismo

- El **subsistema acuífero de Ciudad de México** es recargado por filtración de lluvia en la Sierra Chichinautzin y la Sierra de las Cruces, el agua subterránea circula de las sierras al centro de la Ciudad, donde es extraída a través de pozos.
- El **subsistema acuífero Texcoco** es recargado por la lluvia en las sierras del oriente y sur, a partir de donde el área circula hacia el centro del valle de Texcoco. En los poblados de Texcoco y Chicoloapan el acuífero se encuentra explotado por la agricultura y el uso de agua potable; hacia el poniente de esta zona no hay explotación del acuífero.

- En el **subsistema acuífero Chalco** la recarga se produce sobre las sierras de Santa Catarina, El Pino y Chichinautzin, donde se filtra el agua y circula hacia el centro del Valle y después es extraída a través de pozos.

El drenado vertical de las arcillas es otro sistema de recarga del acuífero y consiste en que el acuífero deja pasar agua muy lentamente debido a la baja permeabilidad de las arcillas que se encuentran saturadas; aunque el flujo del drenado sea lento, su volumen es bastante grande.

Profundidades del acuífero

A principios del siglo XX el acuífero de Ciudad de México se encontraba saturado y sin salidas. Los excedentes se vertían a través de manantiales en Xochimilco, en las Fuentes Brotantes de Tlalpan, en el Peñón de los Baños y en Chapultepec. Para 1940, se perforaron pozos que provocaron el abatimiento del agua subterránea y la desaparición de manantiales.

La profundidad del acuífero en 1985 se encontraba a 20 metros de profundidad en el aeropuerto internacional y a 40 metros en el viaducto.

Actualmente, en el centro-norte de la ciudad y en Xochimilco la profundidad a nivel estático va de 30 a 40 metros, hacia el poniente de la ciudad a más de 100 metros. En la zona entre la Sierra de Guadalupe, el aeropuerto internacional, la avenida Insurgentes Norte y el Viaducto Miguel Alemán, el agua se encuentra a 30 y 45 metros. En esta área la extracción es reducida desde la década de 1960. En la parte plana del Valle el nivel estático se encuentra a 40-60 metros.

En el poniente, en la Sierra de las Cruces, y en el sur, en la Sierra Chichinatzin, la topografía influye y sus valores son de 60-70 metros al pie de la sierra, hasta llegar a 100 metros en los flancos de las mismas. El agua subterránea fluye de las sierras que limitan el Valle, hacia el centro del mismo.

Existen tres conos piezométricos formados por la extracción del agua subterránea, hacia donde se dirige el flujo subterráneo. Uno está ubicado en Azcapotzalco, otro en Tlalpan-Xotepingo y el tercero en el valle de Chalco (Lesser y Asociados, 2005).

Marco geohidrológico e hidroestratigrafía

En el marco geohidrológico y de hidroestratigrafía basado en los estudios de Hernández-Espriú, *et al.*, (2014) y Carrera Hernández y Gaskin (2007), la hidroestratigrafía del sistema se simplifica en cuatro unidades mayores (Mooser, *et al.*, 1996; Pérez-Cruz, 1988; Santoyo, *et al.*, 2005; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

- **Acuitardo confinado**. La unidad que se encuentra más arriba está formada por depósitos aluviales, fluviales y lacustres del periodo Cuaternario. Con sedimentos finos, intercalados con arenas, lentes pumíticos y escasas gravas. El espesor del acuitardo es aproximadamente de 40 a 50 m en Ciudad de México. Los sectores más anchos (350-400 m) se encuentran fuera de los límites de la Ciudad, alrededor del área de Chalco y Texcoco (Vargas and Ortega-Guerrero, 2004). Esta unidad es también conocida como los depósitos lacustres del Cuaternario (Qla). Dentro de esta unidad, se encuentra la unidad de arenas conocida como capas duras, que tiene grandes valores de conductividad hidráulica y un espesor de casi 3 metros.
- **Acuífero granular superior**. Esta unidad está formada por depósitos aluviales cuaternarios, rocas volcanoclásticas y piroclastos y rocas basálticas-andesíticas plio-cuaternarias. Este es el acuífero que abastece de agua potable a la población. La profundidad del agua subterránea es entre 60 y 170 m, mientras que los espesores saturados exceden los 800 metros en algunas áreas. Los pozos de extracción se encuentran a 300-400 m de éste (Herrera *et al*, 1989). De acuerdo con Carrera Hernández y Gaskin, esta unidad es la principal unidad geohidrológica (Qal–Unidad aluvial Cuaternaria). La cual está entre capas con los basaltos cuaternarios (Qv) de la Sierra Chichinautzin y otros volcanes en la región sur de la cuenca. Los basaltos del Cuaternario tienen valores altos de permeabilidad debido a su gran número de fracturas, por lo tanto proporcionan una ruta adecuada para la recarga del acuífero. Las altas montañas que limitan la cuenca al este están formadas por basaltos andesíticos (Qn), que yacen sobre la formación Tarango (T), también encontrada en el fondo de la Sierra de las Cruces y se componen de tobas,

piedra pómez y lahares (Mooser y Molina, 1993). Estas unidades están limitadas por los depósitos lacustres del Plioceno (Pl) que consisten en arcillas altamente consolidadas (Mooser y Molina, 1993). Antes de 1950, el acuífero principal tenía fugas dentro de todo el acuitardo.

Actualmente, existen varios lugares donde la superficie potenciométrica está por debajo de la interface acuitardo-acuífero, por lo tanto, ahora una parte del acuífero se encuentra libre.

- **Acuífero inferior fracturado**. Formado por rocas andésiticas del Mioceno y materiales basálticos y riolíticos del Oligoceno. En la parte superior predominan las arcillas lacustres del Plioceno, mientras que en el sector inferior los conglomerados de la formación Balsas y las lutitas de la formación Mezcala (Mooser, *et al*., 1996). Su espesor se encuentra entre 830 y 2,590 m, según datos de los pozos Mixhuca y Roma-1 de Pemex en 1980.
- **El basamento Cretácico.** La unidad más profunda está formada por calizas, areniscas y lutitas plegadas y fracturadas; éstas afloran al noroeste y sureste de la cuenca. La existencia de zonas kársticas y fraccionadas se infiere por la pérdida de fluidos de perforación (Huizar-Álvarez, *et al*., 2004), con los pozos de sondeo Mixhuca, Texcoco-1 y Tulyehualco llegaron a esta unidad a una superficie subterránea de 1,600, 2,060 y 2,100 metros.

En 2013 se perforó el pozo San Lorenzo Tezonco para evaluar el potencial de la formación de piedra caliza para el suministro de agua y se descubrió que las rocas andesíticas saturadas (unidad volcánica inferior) eran permeables a profundidades de 1,500–2,000 m (Arce, *et al*., 2013).

Contaminación del acuífero

La posible contaminación del acuífero se debería a los canales de desagüe, la petroquímica, los rellenos sanitarios y suburbios sin drenaje moviendo los contaminantes a través del aluvión y de rocas fracturadas hacia el acuífero en las zonas de recarga.

HISTORIA DE LA OCUPACIÓN URBANA DEL VALLE DE MÉXICO

En 1325 se fundó la ciudad de Tenochtitlan sobre un islote en el lago de Texcoco. Este lago se extendía al norte hasta el pie del cerro de Chiconautla y por el sur hasta Iztapalapa y Coyoacán; por el este hasta Texcoco y por el oeste hasta Tacuba y el pie de las lomas de Tacubaya, en tierras del vaso del Lago de Texcoco. Los mexicas utilizaron chinampas o islas artificiales para la construcción de su ciudad, fueron capaces de cultivar y de comerciar, de servirla de agua gracias a acueductos, de reutilizar y aprovechar al máximo los recursos que tenían a su alcance.

Cuando llegaron los aztecas al lago de Texcoco en 1325 se dedicaron a adaptar el entorno para edificar su ciudad. Los cimientos fueron muy importantes para la construcción de la misma. Utilizando pilotes de madera, cortaban estacas de 10 metros de largo por 8 cm de diámetro y, llevándolas al fondo del lago, rellenaban con tierra y roca volcánica aumentando así su fuerza. Esta técnica consistía

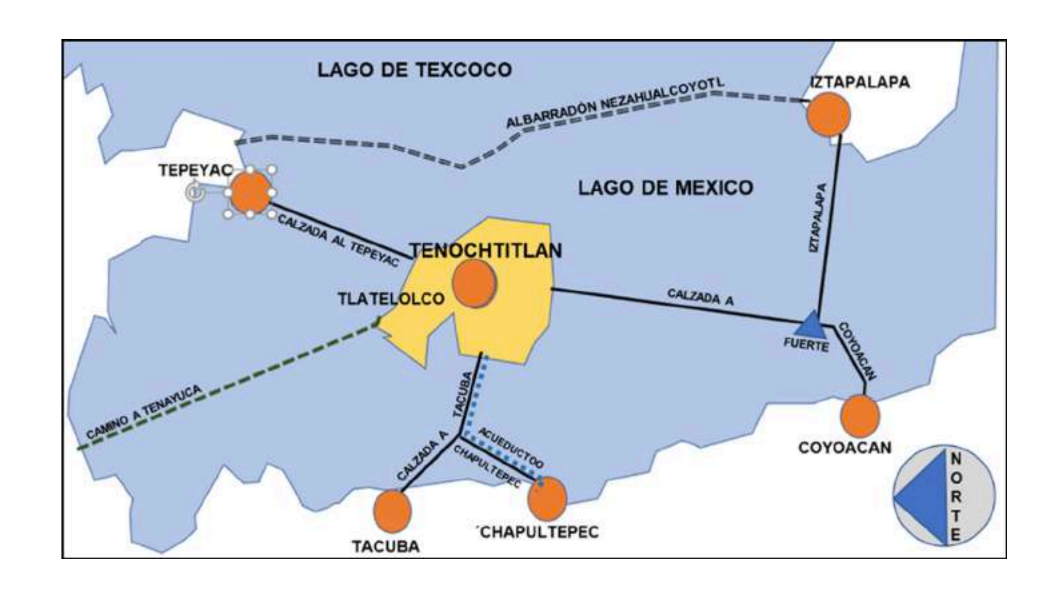
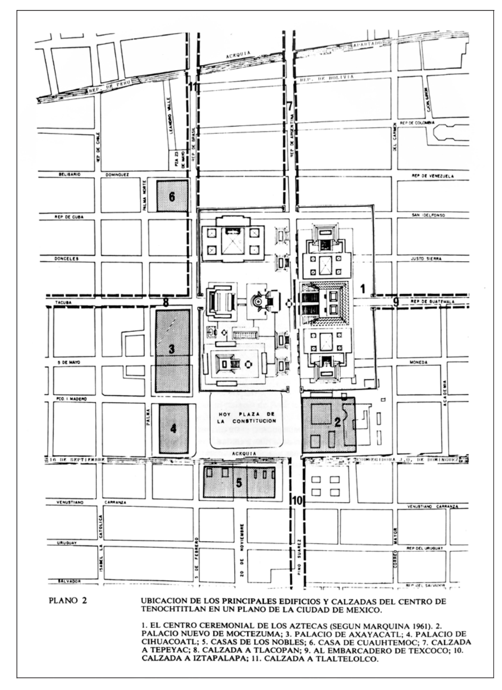
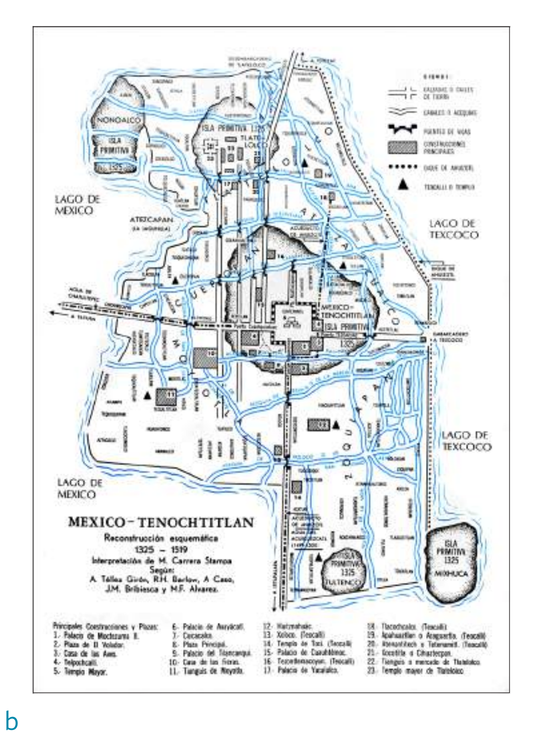


Figura 10. Lago de Texcoco. Fuente: Fernando Greene Castillo, 2021.



a



b

Figura 11. México Tenochtitlán.
a Fuente: Ciudad de México. Espinosa López, E, 1991.
b Fuente: Imagen de la gran capital. *Enciclopedia de México*, 1985.

en el hundimiento de varias estacas para dar resistencia al suelo. Actualmente en construcción a esta técnica se le conoce como multipilotaje y todavía es utilizada.

Este trabajo duró un considerable número de años, pero poco a poco la ciudad se fue expandiendo, y para ello fue necesario construir calzadas que la conectaran y la dividieron en cuatro barrios. Las calzadas eran elevaciones artificiales de unos 15 m de ancho aproximadamente, hechas de arcilla argamasa.

Cada calzada contaba con puentes móviles, con lo que se facilitaba la circulación de las trajineras o de las pequeñas canoas que suministraban agua a los pequeños barrios de la ciudad y a los que no tenían acceso a las otras fuentes de abasto que existían en Tenochtitlan. Este mecanismo tenía tres objetivos:

a) El paso de embarcaciones a la ciudad;
b) Proteger a los habitantes que se encontraban del otro lado de la calzada;
c) Barrera de protección contra los enemigos.

Un componente urbano fundamental de la Gran Tenochtitlan es el Templo Mayor, mismo que se construyó atendiendo a la leyenda de los aztecas que decía que deberían de construir su ciudad donde encontraran un águila con las alas extendidas al sol devorando una serpiente y parada sobre un nopal asentado en una piedra.

Este templo, que se ubicaba en el centro de la ciudad, consistía de varias pirámides y adoratorios dedicados a diferentes dioses que formaban parte del panteón de la religión de los aztecas.



Figura 12. Vista panorámica de México Tenochtitlan.
Fuente: Ilustración Tomás Filsinger.

Antes de las excavaciones arqueológicas realizadas en épocas recientes, y que nos permiten reconstruir con exactitud la composición urbano-arquitectónica de este magnífico recinto, el arquitecto Ignacio Marquina expone, como se puede apreciar en la imagen de arriba, la manera bastante exacta de cómo se habría integrado el Templo Mayor. Asociada a esta imagen se tiene otra que corresponde a la fotografía de una maqueta realizada con conocimiento de la realidad a partir de las excavaciones arqueológicas realizadas para este efecto, encontrándose



Figura 13. Templo Mayor de Tenochtitlán.
Fuente: Arte Historia.

entre estas dos imágenes una de altísima similitud, lo que amerita darle un gran reconocimiento a la habilidad y conocimiento histórico del arquitecto Marquina.

Con la derrota de los aztecas en agosto de 1521, Hernán Cortés ordenó la demolición total de todas las edificaciones de la Gran Tenochtitlan. Lo anterior con la finalidad de fundar, sobre la misma, la Ciudad de México como capital de la Nueva España. Para este efecto, en 1522 Hernán Cortés le solicitó a su alarife, Alonso García Bravo, que elaborara un plano para el trazo y consecuente construcción de la nueva ciudad que sería denominada México. En los planos que se exponen en la se presenta una interpretación de los planos elaborados por el historiador Manuel Sánchez de Carmona, del plano de 1522 y otro de la ciudad en el año 1554.

La dotación de agua potable para la ciudad es un problema perverso, pues subyacen múltiples causas y no se puede solucionar de forma sencilla sin afectar algún otro aspecto. La necesidad de búsqueda constante de nuevas fuentes de agua potable para la zona metropolitana conlleva, de manera directa o indirecta,

a efectos adversos con relación a la extracción de la misma. Incluso los mexicas tuvieron que ser ingeniosos para dotar de agua potable a una ciudad construida sobre un lago salobre, gracias a la construcción de acueductos que traían agua desde diversos manantiales hasta el centro de la ciudad (Olivas Juan, 2012). Empero, en el islote original existió al menos un manantial llamado Tozpalatl.

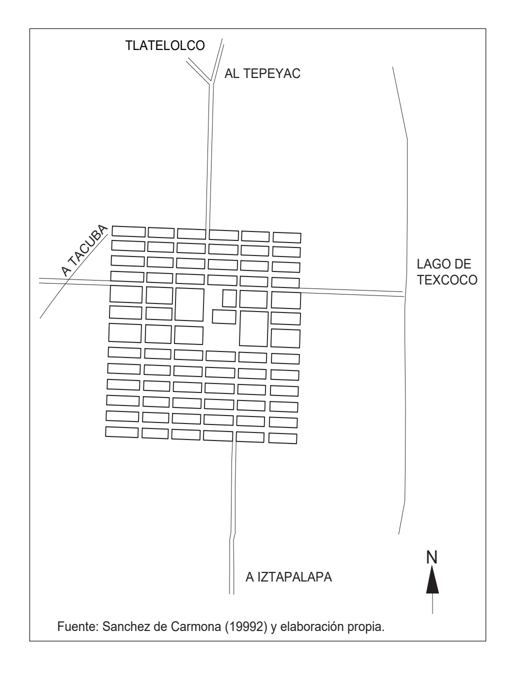
La construcción de las calzadas sobre el Lago de México permitió la edificación de grandes acueductos hasta el centro de Tenochtitlan. Dichos acueductos llegaban a la ciudad desde la calzada a Tacuba con una desviación hacía Chapultepec, y por la calzada a Iztapalapa y su desviación a Coyoacán desde Huitzilopochco, Acuecuexcatl, Zochcoatl y Tiliatl; estas últimas fuentes ubicadas en Coyoacán y Churubusco.

El agua traída por los acueductos se distribuía mediante apantles hacia fuentes públicas, templos y casas de nobles. Cabe mencionar que parte de las viviendas se surtían de agua a través de aguadores; es decir, quienes no contaban con el abasto de agua dulce por los métodos antes mencionados, se abastecían comprándole a los aguadores, quienes transportaban el producto para uso doméstico en tinajas que sobre canoas rellenaban desde diferentes fuentes a las orillas de los grandes lagos.

Para llevar el agua de Chapultepec a lo largo de cinco kilómetros hasta el centro de la ciudad, se construyó un acueducto con el mismo nombre. Esta agua, era transportada por canales exprofeso construidos en la calzada que comunicaba a esta ciudad con Tacuba, así como una calzada de desviación desde la misma que llegaba a Chapultepec, tal como se narra en el libro *Relaciones de Texcoco y de la Nueva España*, donde a la letra dice:

> Por la calzada que en esta gran ciudad entra vienen dos caños de argamasa, tan anchos como dos pasos cada uno, y tan altos como un estado, é por el uno de ellos viene un golpe de agua dulce, muy buena, de gordor de un cuerpo de hombre, que va á dar á la ciudad, en el cuerpo de ella, de que se sirven é beben todos. El otro que va vacío es para cuando quieren limpiar el otro caño, porque echan por allí el agua en tanto que se limpia: é porque el

agua ha de pasar por los puentes á causa de las quebradas por do atraviesa el agua salada, echan la dulce por unas canales grandes y tan gruesas como un buey, que son de la longura de los dichos puentes, é así se sirve de toda la ciudad (Zorita-Pomar, 1941, pág. 128).



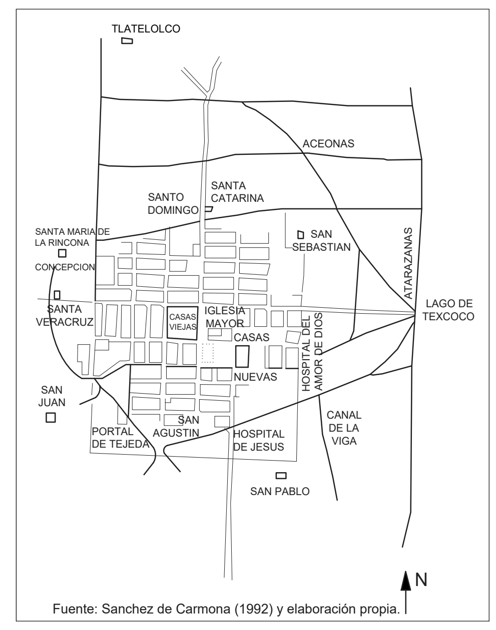


Figura 14. Planos de la Ciudad de México de 1522 y 1554.
Fuente: Sánchez de Carmona (1992), elaboración de Fernando Greene Castillo.

En el *Diccionario de la lengua española*, en su edición del tricentenario (actualización 2019), la palabra "estado" tiene múltiples significados, entre ellos:

- m. Medida longitudinal tomada de la estatura regular de un hombre, que se usaba para apreciar alturas o profundidades, y solía calcularse en siete pies.
- m. Medida de superficie que tenía 49 pies cuadrados.

En el caso de la palabra "paso", este diccionario define su significado como:

- m. Distancia recorrida en cada movimiento al andar.

Poblamiento y acueductos siglos XVI-XIX

Al término de la guerra de la conquista, Hernán Cortés reparó el acueducto de Tacuba hasta llegar a una fuente al costado norte de la Alameda Central. De allí se enviaba el agua en tuberías de cerámica enterradas a fuentes en la Plaza Mayor, en barrios, en sectores españoles y edificaciones religiosas y gubernamentales.



Figura 15. Gráfico tridimensional de la sección de los canales del acueducto.
Render: Emmanuel Martínez.
Fuente: J.C. Olivas. Las dimensiones se aprecian en el texto.

En 1575, para alimentar de agua a barrios indígenas, se construyó una tubería con piezas de cerámica desde las fuentes de Chapultepec a lo largo de lo que después se conformaría como la avenida del mismo nombre.

En 1577 se construyó el Acueducto de Santa Fe, que permitiría dotar de más agua a la ciudad. Estas cantidades adicionales se utilizarían para alimentar el centro de la ciudad y áreas al norte del barrio de San Juan. El sur, era alimentado desde Chapultepec. En 1584 se terminó una derivación del acueducto de Chapultepec por la calzada de San Juan. A su vez, la construcción de ramales desde el mismo y la construcción de fuentes que se terminarían posterior al año 1650.

El acueducto de Santa Fe tenía una trayectoria por la barranca de ese nombre hasta Tacubaya, para luego tomar, después de Chapultepec, la Verónica y de allí la trayectoria original del Acueducto de Chapultepec. En 1755 el virrey Revillagigedo decidió hacer el acueducto de Chapultepec a través de 4 km, 904 arcos de piedra usando tubería de cerámica cocida y vidriada. Esta arquería fue terminada por el virrey Antonio María de Bucareli y Ursúa en 1779.

A mediados del siglo XIX los manantiales de Chapultepec se iban agotando, por ello se empezaron a usar tuberías subterráneas de hierro colado, y paulatinamente se abandonaron los acueductos elevados.

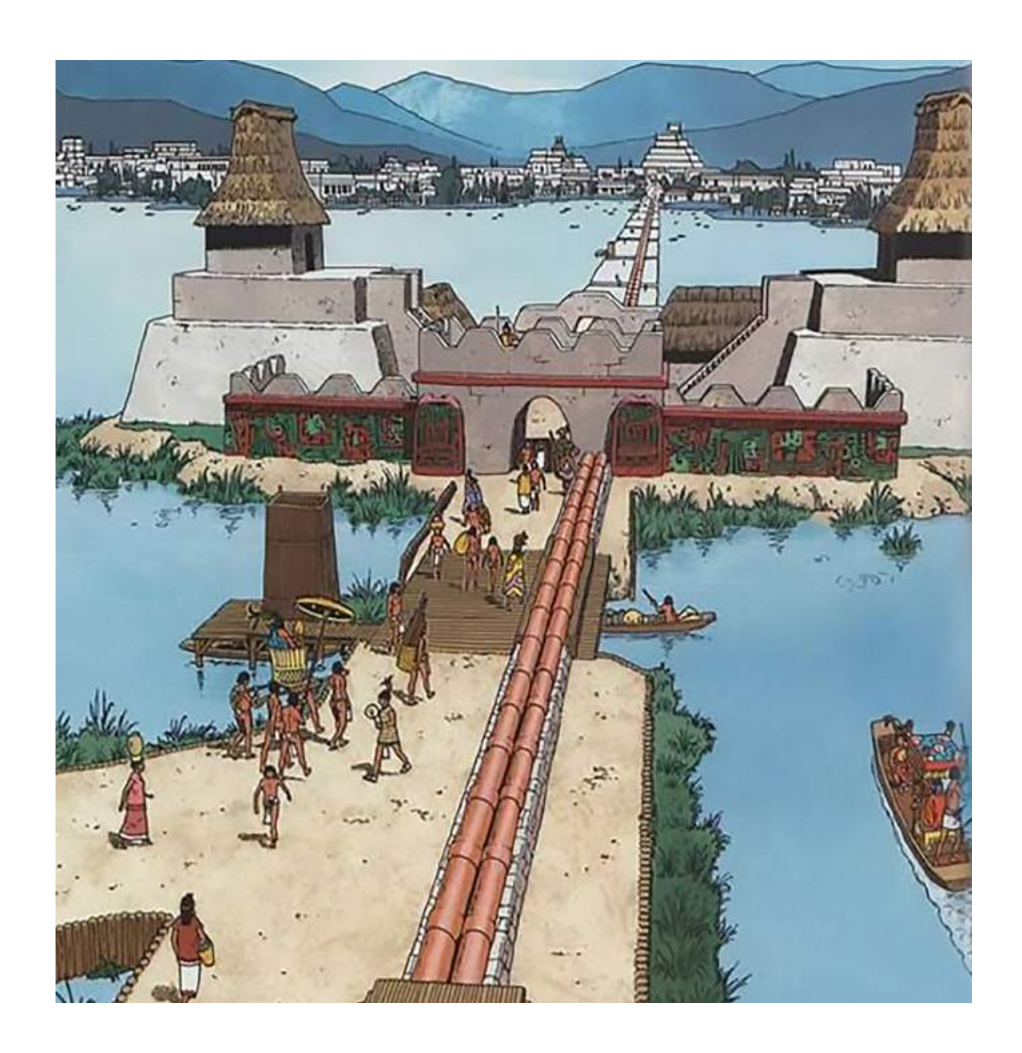


Figura 16. Acueducto México Tenochtitlan.
Fuente: https://www.pinterest.com.mx/pin/625226360745000719/



Figura 17. Acueducto de Chapultepec y sus fuentes. Terminado en 1779.



Figura 18. Fuente de Belén, construida entre 1759-1760, donde iniciaba el acueducto de Chapultepec.

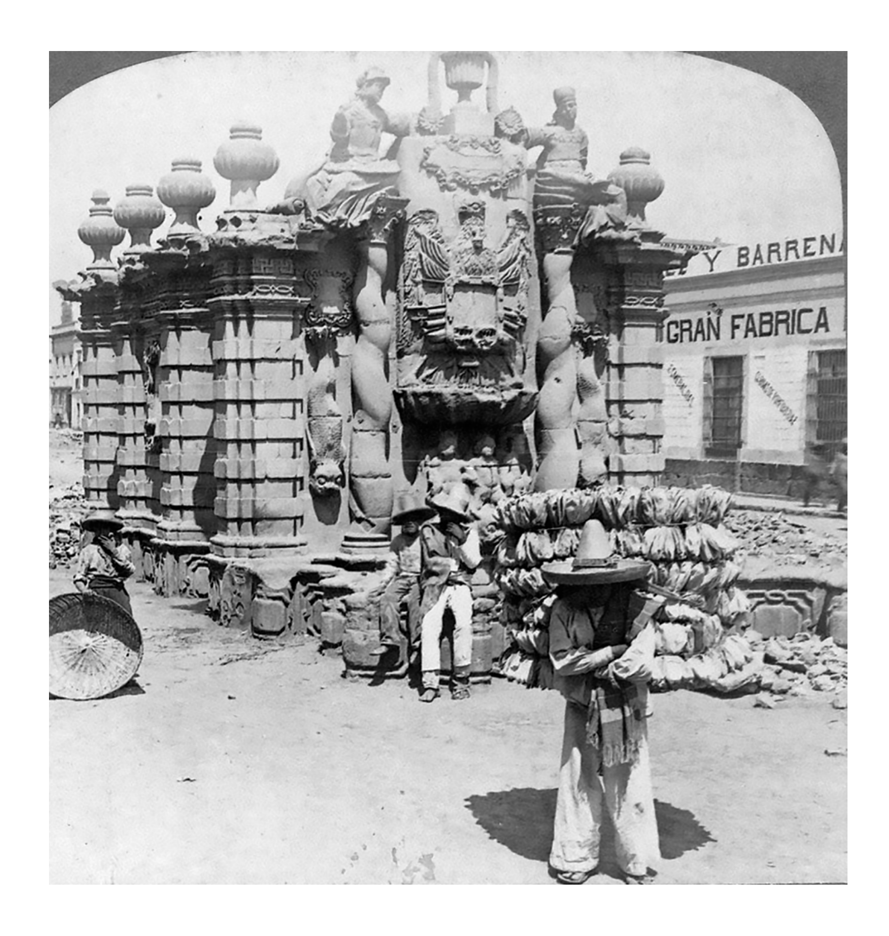


Figura 19. Fuente del Salto del Agua, terminada en 1760.

Algo de historia sobre la Ciudad de México
Del Virreinato a Juárez

La Ciudad de México se fundó en 1519 a la caída del Imperio Azteca. Se emplazó sobre los restos de la Gran Tenochtitlan, después de la destrucción de la misma por órdenes de Hernán Cortés. Al igual que su antecesora Tenochtitlan, se ubicó en medio del Lago de México, mismo que forma parte de un sistema de siete lagunas que se presenta en la figura 20.

Una pintura realizada por Manuel Carrera Stampa, interpretando a Cortés, Díaz del Castillo, González Obregón y a partir de los planos de A.P. Mausldav, Ola Apenes y Castro, se advierte que Tenochtitlan era una pequeña ciudad en medio del Lago de México y que, de acuerdo con el libro Imagen de la *Gran Capital de la Enciclopedia de México*, S.A. de C.V. del año 1985 (página 58), tenía una población en 1524 de aproximadamente 30,000 habitantes en un área de 270 ha, por lo que podemos estimar una densidad de 111 hab/ha.

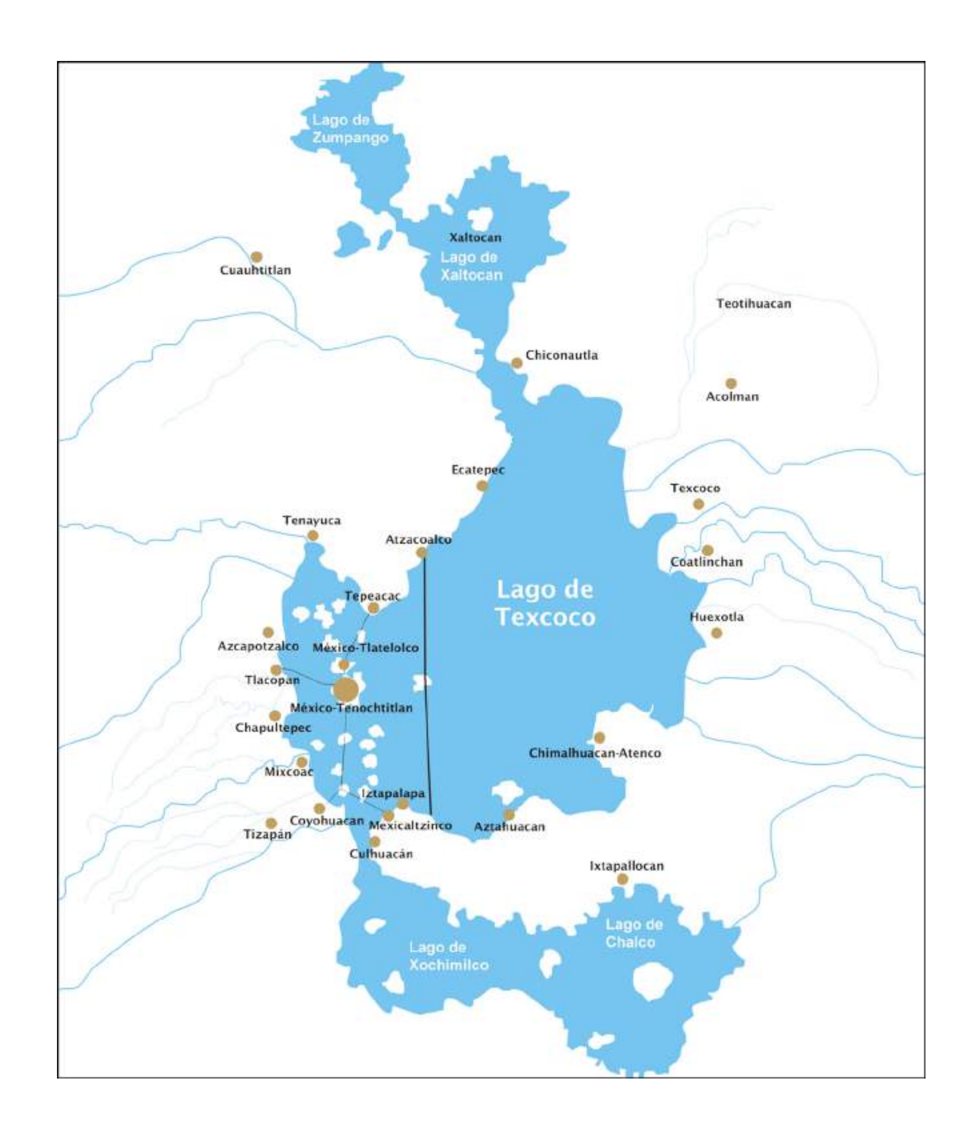


Figura 20. Ciudad de México, sistema de Lagunas. Siglos XVI-XVII. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Lago_de_Texcoco

Un mapa de 1628 y atribuido a Juan Gómez de Trasmonte (figura 20), se aprecia que la ciudad, a poco más de cien años de su fundación, no era mucho mayor que Tenochtitlan. Lo anterior se confirma si consideramos la información del libro antes señalado para el año 1600, donde se anotó que la población ascendía a 58,500 habitantes, localizada en 347 ha, y por ello se estima una densidad de 173 hab/ha.

Para el año 1700, después de 180 años de colonialismo, y de acuerdo con el libro ya citado, en la ciudad vivían 105,000 habitantes y ocupaba 661 ha. Siguiendo con la misma fuente, al final de la época colonial, en 1800, en Ciudad de México

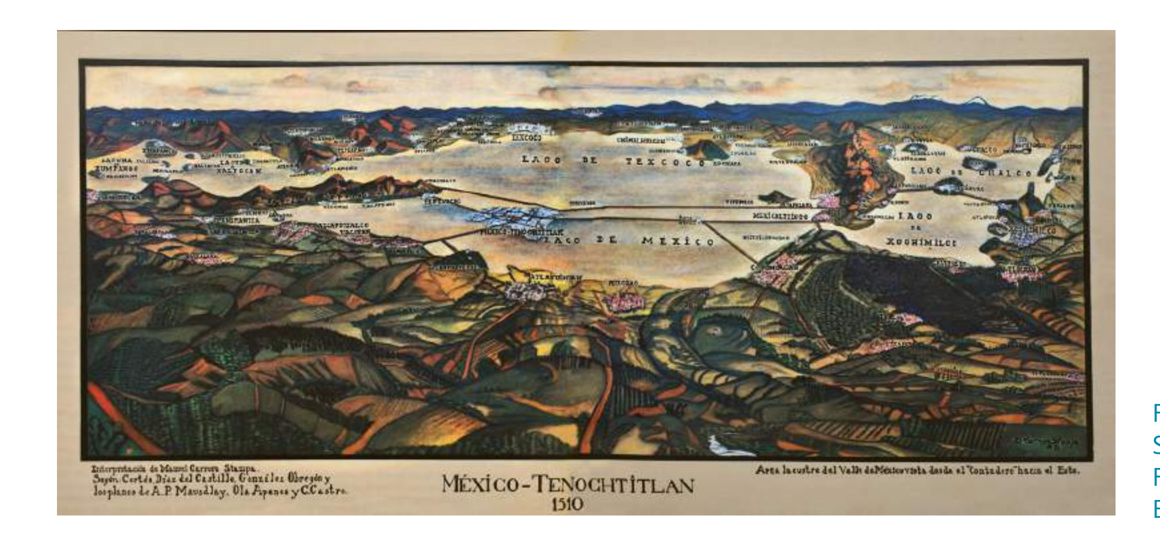


Figura 21. México –Tenochtitlan. Siglo XVI.
Fuente: Imagen de la Gran Capital. Enciclopedia de México, 1985.

habitaban 137,000 personas en un área de 1,076.2 ha. En 1845, poco antes de la guerra con Estados Unidos de América, en la urbe vivían 240,000 habitantes, ocupando 1,412.5 hectáreas.

El Juarismo

En 1856, en una litografía atribuida a Casimiro Castro y de acuerdo con un plano elaborado por el general D. Juan T. Almonte, Ciudad de México todavía conservaba una dimensión relativamente chica comparada con la dimensión actual de la misma.

Para ese año se calcula una población de 340,000 habitantes, ocupando una superficie de 1,894 ha y teniendo una densidad de 179 hab/ha. Estas cifras contrastan mucho con las cifras del periodo anterior.

Una característica que se observa es que la ciudad sigue rodeada- por superficies inundables conforme al vaso del Lago de México. Como anteriormente se expuso, la explotación del acuífero del Valle de México comenzó 6 años antes de la elaboración del plano señalado, es decir en 1847, cuando se perforó el primer pozo en el Valle (Ortega y Farvolden, 1989).



Figura 22. Ciudad de México, siglo XIX.
Fuente: *Imagen de la Gran Capital*. Enciclopedia de México, 1985.

El plano de la figura 23 corresponde al año 1875 y se atribuye a C. Castro. Resulta-notable la aparición de la traza de la colonia Guerrero y la aparición del sistema de ferrocarriles, así como una primera versión del actual paseo de la Reforma.

Algunas conclusiones del periodo 1524-1900

Como puede apreciarse, y de acuerdo con la información antes anotada en los gráficos de la figura 24 se observa que durante el periodo 1524-1900 el crecimiento de la población y la superficie ocupada presentaban cierta relación ascendente es decir en la medida en que la población crecía, también crecía el tamaño de la ciudad.

Por otro lado, si la relación antes mencionada fuera exacta, se observaría una densidad igual para todo el periodo estudiado, empero esto no es así pues la densidad de 1524 a 1600 aumentó en poco más de 50%, y de esta última fecha hasta

1700 la densidad de población bajó ligeramente menos de 5%. En los siguientes 100 años la densidad registraría un descenso poco más de 20%, para nuevamente subir a más de 50% en el año 1900.

Siguiendo con el tema de la densidad de población, resulta importante señalar que la misma puede considerarse muy alta en cualquiera de los años analizados, si se compara con densidades observadas con relación a cualquier otra ciudad actual de México. Lo anterior es atribuible a que la ciudad se construyó sobre Tenochtitlan, la cual ya era de por sí una ciudad muy densamente poblada, también porque desde su fundación y hasta el periodo Juarista la ciudad creció con lentitud.

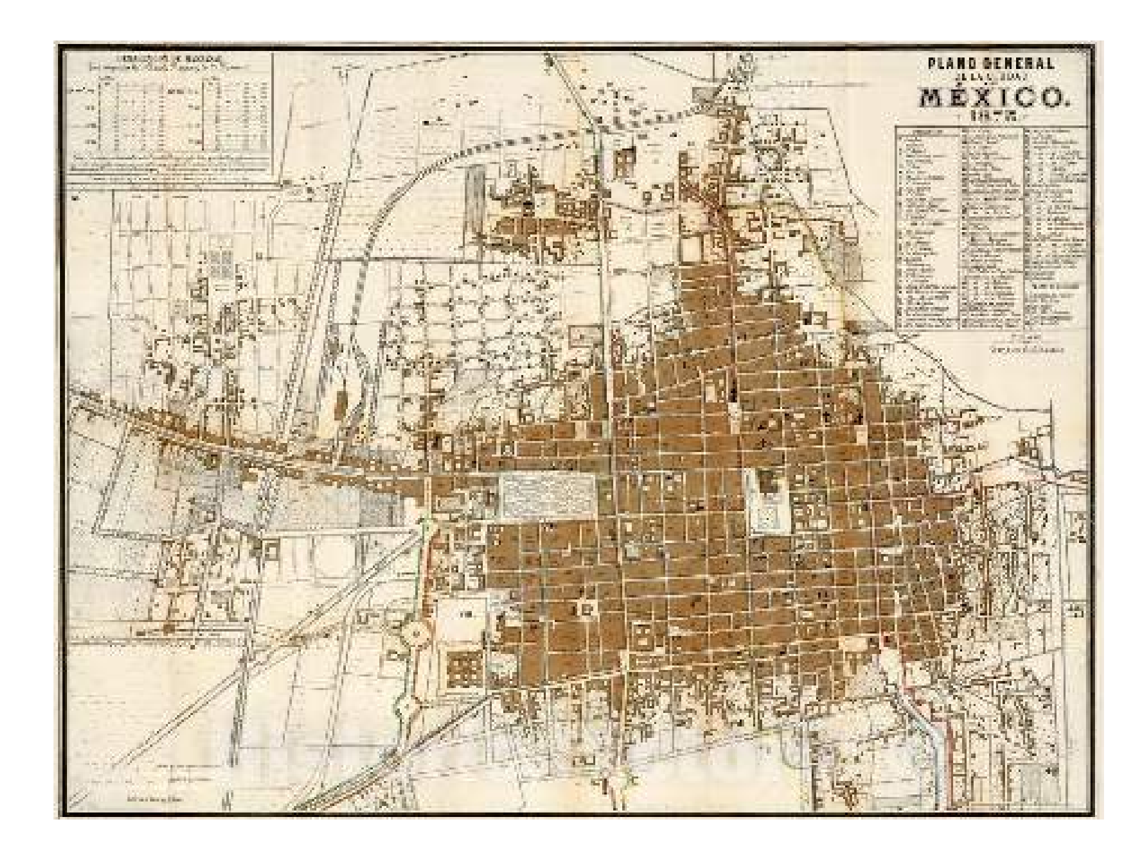
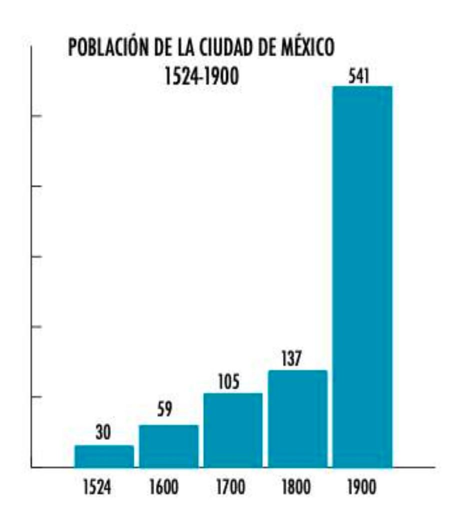


Figura 23. Plano General de la Ciudad de México, siglo XIX. Fuente: Plano general de la Ciudad de Mexico, 1875.

AÑO	POBLACIÓN MILES	ÁREA (HAS)	DENSIDAD DE POBLACIÓN (HAB./HAS.)
1524	30	270	111
1600	59	347	167
1700	105	661	159
1800	137	1,076	127
1900	541	2,713	199



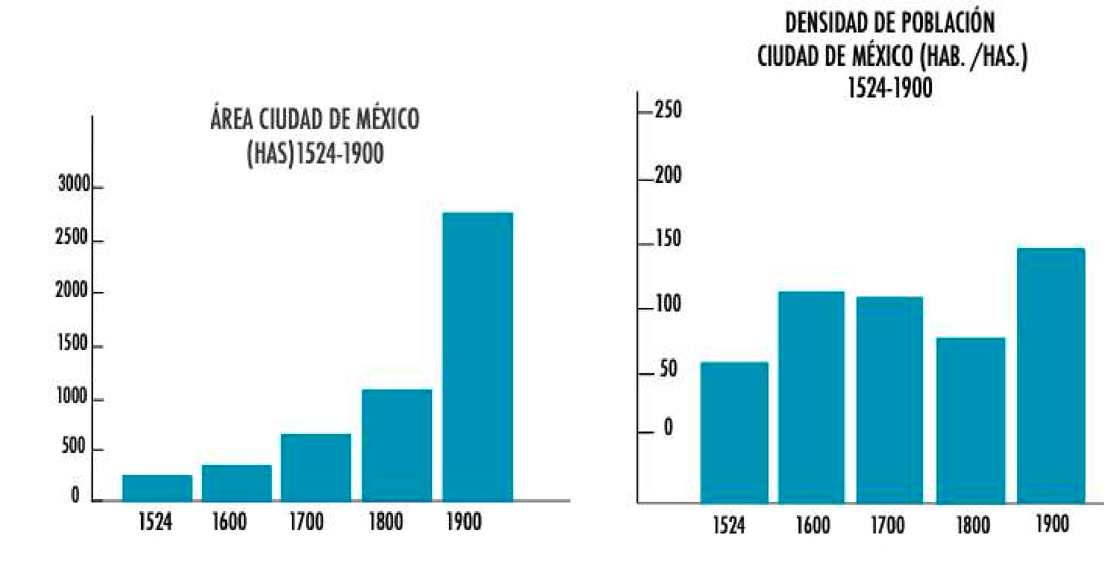


Figura 24. Población de la Ciudad de México 1524- 1900.
Fuente: datos obtenidos del libro *Imagen de la Gran Capital*, editado por Enciclopedia de México S.A. de C.V 1985, p. 58.

La ciudad porfirista

En 1900 Ciudad de México, comparada con el tamaño actual de la misma, era todavía muy pequeña, pues tenía un área de 2,713 ha, contaba con 541,000 habitantes y una densidad de población de 199 hab/ha.

En otro orden de ideas y refiriéndonos al abastecimiento de agua para la ciudad, resulta muy relevante el hecho de que para 1899 un total de 1,070 pozos fueron usados para extraer agua de los acuíferos (Marroquín-Rivera, 1914).

En 1910, al final del Porfiriato, la ciudad ocupaba un área de 4,125 ha, tenía una población de 721,000 habitantes y su densidad era del orden de 175 hab/ha. Cabe notar la alta densidad de población que presentaba la Ciudad de México desde su fundación hasta finales de este periodo.

Los dos mapas de la figura 25, elaborados a partir de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG) antes mencionado, se presenta el crecimiento urbano de Ciudad de México en el periodo 1900 y 1910.

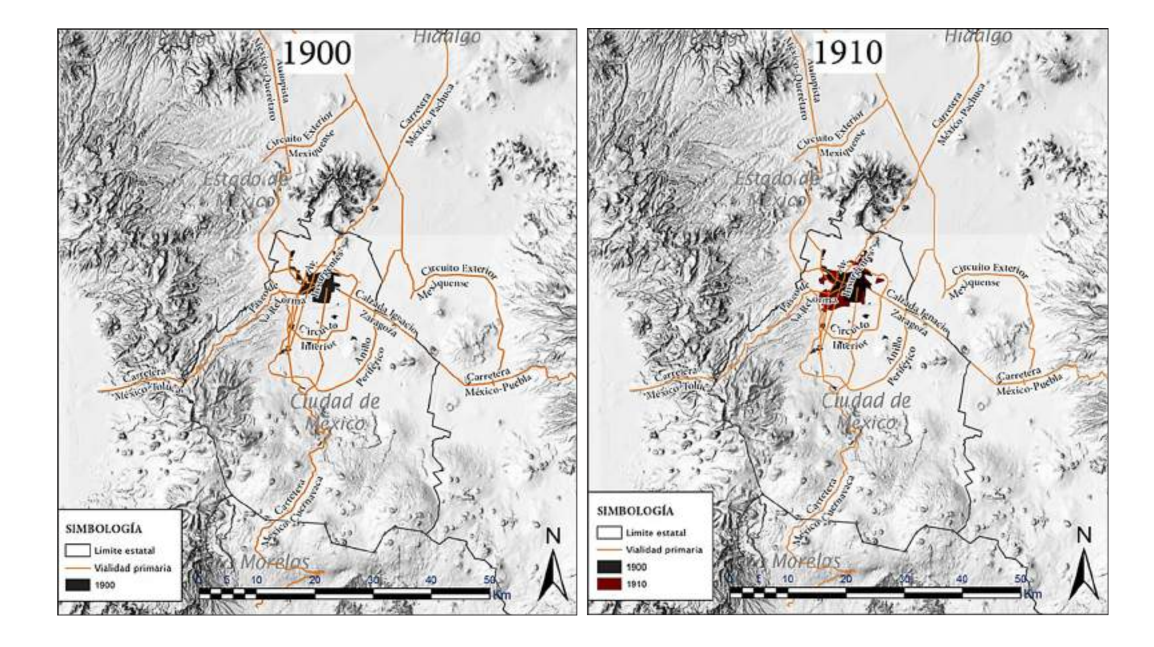


Figura 25. Crecimiento urbano. Ciudad de México 1900-1910.

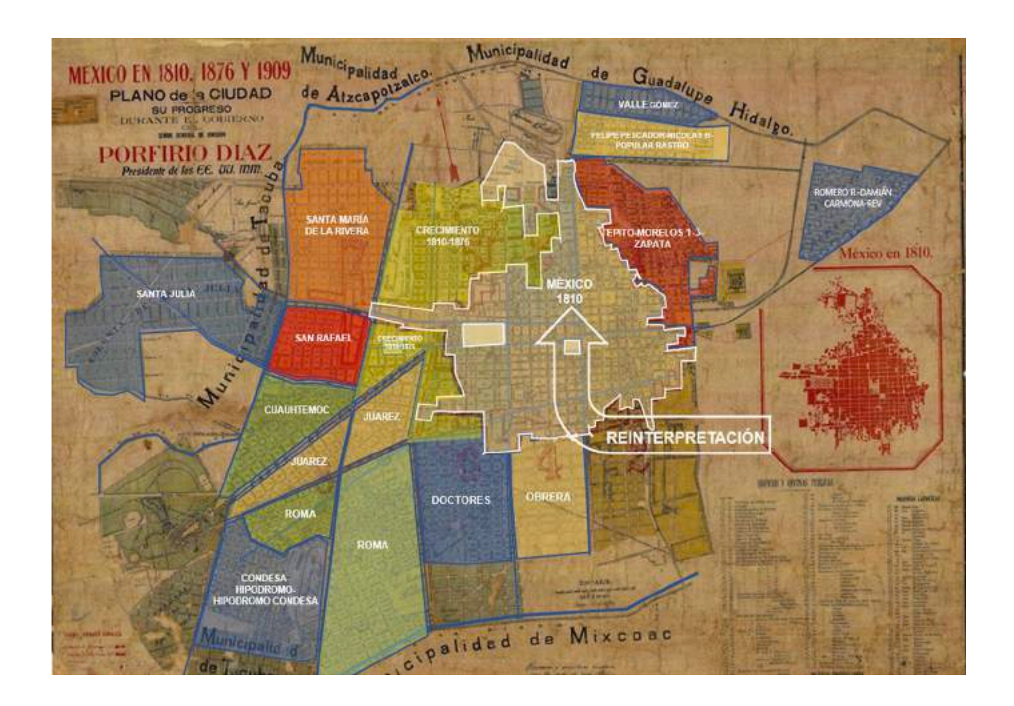


Figura 26. Plano de la Ciudad durante gobierno de Porfirio Díaz, 1810, 1876 y 1909. Fuente: https://www.geografiainfinita.com/2016/12/evolucion-de-la-ciudad-de-mexico-a-traves-de-losmapas/

Aparición de colonias durante el periodo porfirista

En el mapa de la figura 26 y que lleva como título "México en 1810, 1876 y 1909. Plano de la Ciudad, su progreso durante el gobierno del señor general de división Porfirio Díaz, presidente de los EE. UU. MM.", es muy significativo y que en adelante, para este apartado, llamaremos “Mapa de Referencia”, pues básicamente se analiza el crecimiento de la mancha urbana de Ciudad de México de 1810 a 1876, y de este último al año 1909. Es decir, se destaca el crecimiento. territorial de Ciudad de México durante la presidencia de Porfirio Díaz.

Sobre esta copia del plano original se presentan, con diferentes colores, las colonias que se proyectaron y/o se construyeron durante el periodo del presidente Porfirio Díaz. También se “colorea” el territorio que ocupaba el desarrollo urbano de 1810 a 1876.

Se puede reconocer un crecimiento de varias colonias a partir del asentamiento de las diversas clases sociales: altas, medias y bajas. Resulta muy interesante que este plano incluya colonias que se edificaron en el Porfiriato, así como durante de la Revolución mexicana.

La primera de las colonias en desarrollarse fue la colonia San Rafael, después Juárez y Santa María de la Ribera, habitadas por familias de los más altos recursos económicos. Durante el siglo XIX también aparecerían las colonias Guerrero, Morelos, Doctores y Obrera, destinadas para la clase popular.

La importancia de este análisis, con relación a la expansión urbana de Ciudad de México, reside en que ésta no hubiera sido posible si los métodos y técnicas de abastecimiento de agua a la Ciudad no hubieran cambiado durante la época Prehispánica, la Colonia, así como desde 1821 hasta el fin de la presidencia juarista.

De manera fundamental podríamos atribuir estos cambios a los siguientes tres hechos:

- Para hacer más eficiente el transporte y distribución del agua, y después de la inhabilitación de los acueductos a base de arcadas construidas durante la Colonia, se inició la sustitución de tuberías de barro o argamasa por tubos de plomo o acero, de manera que se pudiera traer agua desde Chapultepec y Santa Fe para distribuirla a las diferentes zonas de la urbe;
- La explotación de los mantos acuíferos existentes en el Valle de México, que hasta la década de 1870 no habían sido utilizados de manera creciente. Cabe señalar que el agua extraída de estos acuíferos por lo general era de excelente calidad para fines de consumo humano;
- Las crecientes demandas de la población a las autoridades para resolver los problemas de abastecimiento de agua en diferentes áreas de la ciudad, sobre todo en los asentamientos populares.

Con relación a este último hecho, María del Carmen Collado (wikipedia.org/wiki/Tepito), nos transmite en su libro Miradas recurrentes que:

> Hacia la década de 1870, la población había menguado en los tres barrios [se refiere a La Lagunilla, Tepito y Peralvillo] debido a una escasez de fuentes de agua, siendo sus únicas fuentes las localizadas en Peralvillo y en la plaza del Carmen al sur de Tepito. Por lo mismo existían muchas construcciones derruidas que servían de refugio a malhechores y prostitutas, además de

autorizarse la creación de tiraderos de basura en el área. Hacia 1871 el Ayuntamiento de México autorizó la apertura de pozos artesianos de agua que soslayaran el problema del abasto de agua que no permitía crecer a la ciudad. En 1884 la zona ya tenía seis pozos.

Otra narración sobre esta época, en torno a la importancia que tenía el abastecimiento de agua, Jaume Molet (altonivel.com.mx/OPINION/SANTA-MARIA-LA-RIBERA-BARRIO-cdmx) refiriéndose a la colonia Santa María de la Ribera nos dice que: "era una colonia que prometía: [...] belleza del paisaje, la abundancia de agua potable [...] y otras mil circunstancias [...] y esta promesa fue más que suficiente para que llegara a establecerse la naciente clase media".



Figura 27. Plano actual de Ciudad de México.
Fuente: Fernando Greene Castillo a partir de imagen de Google earth.

En la figura 28 se presentan algunos de los datos más relevantes de las colonias mostradas en el "Mapa de Referencia", así como un análisis sucinto por cada una ellas.

COLONIAS PROYECTADAS Y/O URBANIZADAS DURANTE EL GOBIERNO DEL PRESIDENTE PORFIRIO DÍAZ				
NOMBRE	DESARROLLADOR	ÁREA HAS.	AÑO DE OCUPACIÓN	FUENTE
DE LOS ARQUITECTOS SAN RAFAEL	FRANCISCO SOMERA	120	1859	http://tintaroja.com.mx/BajaPDF.php?id=355 https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia Doctores
AMERICANA - JUÁREZ	FRANCISCO SOMERA	142	1860	https://www.dondeir.com/ciudad/la-juarez-conoce-la-historia-de-esta-colonia-de-(cdmx/2018/03/
SANTA MARÍA DE LA JOAQUIN Y ESTANISLAO RIBERA	JOAQUIN Y ESTANISLAO FLORES	209	1870	https://www.altonivel.com.mx/opinion/santa-maria-la-ribera-barrio-cdmx/
BELLAVISTA- SAN FERNANDO- GUERRERO	N.D.		1873	https://www.yaconic.com/colonia guerrero-fotos
MORELOS	JUAN VIOLANTE	190	1884	https://es. wikipedia.org.wiki/Tepito._ https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-morelos/.
DE LOS DOCTORES	PEDRO SERRANO	152	1889	https://es. wikipedia.org.wiki/Colonia Doctores
EL CUARTELILLO- OBRERA	N.D	112	1889	https://cronicasdeasfalto.com/la-colonia-obrera-narrada-por-sus-habitantes/.
VALLE-GÓMEZ	MODESTO DEL VALLE Y RAFAEL B. GÓMEZ	50	1894	https://es. wikipedia.org/w/index.php?search=colonia+valle+gomez&title=Especial%3ABuscar&go=ir&ns001&- https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-valle-gomez
SANTA-JULIA- GUERREO-ANÁHUAC	JULIA GÓNEZ DE ES- CALANTE Y EDUARDO ZOZAYA	251	1902	https://mxcity.mx/2016/03/breve-repaso-la-historia-del-barrio-magico-santa-julia/
ROMITA-ROMA	PEDRO LASCURAIN	384	1903	https://cdmxtravel.com/es/experiencias/la-maravillosa-historia-de-la-colonia-roma.html
AITWELL PALACE-CUAUHTEMOC	RAFAEL MARTÍNEZ DE TORRE	99	1905	https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-cuauhtemoc/
HIPÓDROMO CONDESA	COMPAÑÍA FRACCIONADORA Y CONSTRUCTORA DE LA CONDESA	208	1909	https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia Con-desa (Ciudad de M%C3%A9xico)
ROMERO-RUBIO- DAMIÁN CARMONA- REVOLUCIÓN	PORFIRIO DIAZ	62	1909	https://es.wikipedia.org/wiki/Romero_Ru-bio_(estaci%C383n). https://noticieros.televisa.com/videos/origen-colonia-romero-rubio/. https://www.eluniversal.com.org.mx/tag/colonia-romero-rubio
MAZA-FELIPE PESCA- DOR-POPULAR RASTRO	JOSÉ MAZA FELIPE PESCADOR	47	1923	https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-felipe-pescador/ https://en.wikipedia.org/wiki/Colonia_Feli-pe_Pescador
TOTAL		2026		

Figura 28. Tabla de colonias proyectadas y urbanizadas durante el gobierno de Porfirio Díaz.

Colonia Cuauhtémoc

La colonia Cuauhtémoc originalmente se bautizó como Colonia Atiwell Palace, atendiendo al apellido de uno de sus propietarios. El cambio de nombre a colonia Cuauhtémoc es atribuible a la cercanía que tenía con el monumento a Cuauhtémoc, emplazado desde entonces en las avenidas Insurgentes y Paseo de la Reforma.

Empezó a desarrollarse a principios de 1905, creciendo lentamente en sus inicios por lo que en una primera etapa sólo fue construida la parte oriental de la misma. Originalmente se diseñó con una traza ortogonal con manzanas cuadradas paralelas al Paseo de la Reforma, vía que definiría la orientación de prácticamente todas las manzanas. Esta traza de aproximadamente 99 hectáreas se conserva hasta la fecha y ocupa terrenos de lo que fuera la Hacienda de la Teja y se atribuye su promoción a Rafael Martínez de la Torre.

Desde su origen, y por su colindancia al sur con la avenida Paseo de la Reforma, la colonia Cuauhtémoc fue concebida para el establecimiento de familias económicamente muy adineradas, por lo que en la misma se edificaron magníficas mansiones con estilos arquitectónicos europeos de moda, como el *art nouveau* y *art déco*, así como con modelos de diseño ecléctico.

Colonia Obrera

La colonia Obrera fue oficialmente llamada así ya que antes de su urbanización una pequeña parte estaba ocupada por habitantes que se dedicaban a algún tipo de oficio. Por lo anterior el asentamiento de familias de clase media o media baja se dio de manera natural en esta área de la ciudad.

La ocupación de los terrenos donde se asienta la colonia Obrera se remonta a la década de los años cuarenta del siglo XIX, pues allí se construyó “El Cuartelillo” que sirvió de asiento a las tropas del presidente Santa Anna.

La colonia Obrera empezó a desarrollarse con la traza que actualmente conocemos hasta 1889, llegando a ocupar una superficie aproximada de 112 ha, y creciendo lentamente hasta consolidar, en 1920, lo que sería su actual traza. Ésta se concibió en forma de cuadrícula, con manzanas alargadas en el sentido oriente-poniente, misma que ha sido respetada, casi en su totalidad, hasta nuestros tiempos.

> Según se narra en un artículo publicado por *Crónicas de Asfalto*, rememorando un libro de Juan Sergio Rentería, pionero de esta colonia en los años veinte: El tesorero del sindicato de electricistas proyectaba películas los sábados por la noche en la puerta ubicada frente a su ventana. Ponían una sábana como pantalla. Y venía mucha gente, ¡todo mundo cargando su sillita para sentarse a media calle!

Colonia Anahúac-Santa Julia

La colonia Anáhuac originalmente nació con el nombre de colonia Santa Julia. La ocupación de los terrenos donde se asienta esta colonia se remonta a los primeros años del siglo XIX. A finales de ese mismo siglo, la Sra. Julia Gómez de Escalante, dueña de esos terrenos, en asociación con el Sr. Eduardo Zozaya, decidieron construir un fraccionamiento, mismo que nació oficialmente en 1902.

Esta colonia atiende a una traza ortogonal, ocupa una superficie aproximada de 251 ha y se localiza en el Poniente de lo que entonces era la mancha urbana de Ciudad de México.

Colonia Guerrero

La colonia Guerrero atiende a una traza de retícula. Se emplaza en un área aproximada de 230 ha y se localiza en el Poniente del área que ocupaba la entonces Ciudad de México y donde anteriormente se ubicó el barrio mexica de Cuepopan.

En un principio se llamaba colonia Bellavista y de San Fernando, pues los terrenos donde se ubica pertenecían al Colegio de la Propaganda Fide de San Fernando. Por otra parte y de acuerdo con Yaconic:

> La Colonia Guerrero, es una de las más antiguas de la Ciudad, se empezó a desarrollar en 1873, siendo presidente Sebastián Lerdo de Tejada, quien ordenó la construcción del Paseo de la Reforma. Se tiene registrado que el 2 de abril de 1886 el presidente Porfirio Díaz visitó este lugar para conmemorar la derrota de los conservadores en 1867, misma que posibilitó la recuperación de la Ciudad de México por Don Benito Juárez.

Colonia San Rafael- de los Arquitectos

La colonia San Rafael, ubicada en lo que fue parte del rancho El Cebollón, es reconocida como ejemplo del diseño de su época, y su construcción se debe al Ing. Francisco Somera, quien inició su urbanización en el año 1859, ampliándola en 1891. En esta colonia se registró una muy rápida ocupación, casi a la par de la colonia Santa María de la Ribera.

Al inicio de su ampliación, y después de varios años de crecimiento, lo que sería la colonia De los Arquitectos cambio su nombre a colonia San Rafael. Su traza en forma de cuadrícula tiende a manzanas cuadradas.

Esta colonia ocupa un área aproximada de 120 ha en donde en aquel entonces existía un potrero donde se localizaba el convento de San Cosme y en terrenos baldíos al poniente del entonces centro urbano colonial de la capital de la República. Con este ensanche dio inicio la expansión de Ciudad de México por la vía del desarrollo de colonias.

Colonia de los Doctores

En el año de 1889, en un predio de 152 ha, se inició la urbanización de la colonia de los Doctores. Diseñada y desarrollada por Pedro Serrano, ocupando de norte a sur desde la Garita de Niño Perdido hasta la avenida hoy conocida como Avenida Central, incluyendo asimismo el Hospital General. Con una traza original con forma de retícula y manzanas básicamente cuadradas, dista mucho de la traza que hoy en día se observa.

Según se constata en Wikipedia, la hoy avenida Cuauhtémoc "ocupa el trazo de la antigua calzada construida por el virrey Juan de Mendoza y Luna en la primera década del siglo XVII para unir a la Ciudad de México con el pueblo de la Piedad".

Colonia Roma

La colonia Roma se ubica al sur de lo que era la mancha urbana de Ciudad de México a finales del siglo XIX. Ocupa terrenos que pertenecían a Edward Walter Orrin en lo que se conocían como potreros de La Romita, asentamiento precario habitado mayoritariamente por obreros.

Situada en un área aproximada de 384 ha, es considerada la colonia más grande proyectada durante el Porfiriato. Su traza es básicamente ortogonal y con

manzanas de diferentes tamaños. En la Romita y Roma Norte existen manzanas cuadradas, rectangulares, alargadas en el sentido oriente-poniente o alargadas en sentido contrario. En la Roma Sur, por el contrario, se advierte una disposición mayor de manzanas en cuadrícula alargadas en el sentido norte-sur.

En 1903 el Sr. Pedro Lascuráin adquirió parte de estos terrenos, diseñó y construyó un fraccionamiento para el asentamiento de familias de alta capacidad económica, prometiendo a sus futuros clientes una urbanización de primera con suficiencia de agua, alumbrado público eléctrico y una muy buena pavimentación y banquetas.

La colonia Roma no fue afectada en su desarrollo por la Revolución, en un artículo publicado en *MásPorMás,* Mayo Romero relata:

> [...] durante la Revolución el crecimiento de la ciudad se detuvo, pero en la colonia Roma fue todo lo contrario, los carrancistas llegaron a habitar la colonia, seguidos por los obregonistas. El mismo Álvaro Obregón vivió en la colonia [...] albergaba a familias que venían de diferentes culturas y la coloca como una de las colonias de más status social. Además, se distinguió por los estilos arquitectónicos que predominan como el Art Nouveau, ecléctico y Art Déco.

Colonia Juárez

La actual colonia Juárez, llamada así desde 1906, conmemora el recuerdo del pre-sidente Benito Juárez. Originalmente se llamó colonia Americana y data de mediados del Porfiriato, aunque existen fuentes que señalan su inicio en 1860.

La diseñó con forma de cuadricula el señor Francisco Somera en un terreno que se estima en 142 ha, considerando en su concepción amplias calles, grandes casas con jardín y una arquitectura que estaba en boga, como la que se encontraba en París. Por ello, la colonia se concibió para familias con un alto nivel de recursos y que apelaran a un estilo de vida tipo europeo.

Colonia Santa María la Ribera

La colonia Santa María la Ribera, urbanizada a partir de 1863, ocupa una superficie aproximada de 209 ha con un diseño de cuadrícula y un magnífico parque central.

Para realizar este proyecto se instrumentó la primera sociedad inmobiliaria de la ciudad, siendo sus promotores los señores Joaquín y Estanislao Flores, quienes vendían partes del rancho de Santa María, del cual proviene el nombre de esta colonia. De acuerdo con uno de los documentos contenidos en el Archivo Histórico de la Ciudad de México, dicho fraccionamiento se contaría con, entre otros atractivos, "¡abundancia de agua potable!" Este anuncio y su buen diseño resultaron muy atractivos para la naciente clase media de esa época.

Colonia Hipódromo Condesa

El nombre de la colonia Hipódromo Condesa proviene de dos hechos, el primero es que a principios del siglo XVIII los terrenos donde se ubica eran propiedad de la familia de la condesa de Miravalle, María Magdalena Catalina Dávalos de Bracamonte y Orozco. El segundo hecho es que a finales del Porfiriato en una parte de los terrenos que ocupa la misma se construyó un hipódromo.

Después del periodo revolucionario, la Compañía Fraccionadora de la Condesa fraccionó de manera regular los terrenos que ocupa la colonia y que se estima en 208 ha, respetándose el trazo en forma de elipse relativo al hipódromo, e incluyendo en el diseño los parques España y México. Este último originalmente llamado parque General San Martín.

Se estima el inicio de su urbanización en 1909. Fue proyectado por el arquitecto José Luis Cuevas y se respetó el trazo del hipódromo que operó hasta los años veinte y que dio origen a la avenida Ámsterdam. Asimismo, en esta colonia se construyó un toreo que fue demolido en 1946.

Su diseño es notable en cuanto a su calidad urbanística, pues además de sus grandes avenidas y fuentes alberga los parques España y México, con lo que se logró conservar 40% de la superficie total de la colonia para áreas verdes. Por lo anterior, y atendiendo a la calidad urbanística de esta colonia, desde sus inicios se asentaron familias de clase media alta.

Colonia Valle Gómez

La colonia o barrio Valle Gómez se urbanizó en 1894. En cuanto a sus inicios existen dos fuentes documentales respecto a su localización, la primera indica que se desarrolló en terrenos del potrero de la Villa, otra fuente señala que esos terrenos

formaron parte de la hacienda Aragón. Fue desarrollada por Modesto del Valle y Rafael B. Gómez.

La superficie original de esta colonia era de 50 ha y en el siglo XIX se ubicaba al norte del entonces casco urbano de Ciudad de México. Actualmente tiene las siguientes colindancias: Ferrocarril Hidalgo hacia el este, calzada de Guadalupe hacia el oeste, Río Consulado hacia el norte y calle Hierro hacia el sur.

Después de su nacimiento, la colonia se enfrentó a muchos problemas, pues parte de la misma se localizaba en Ciudad de México y otra parte en el municipio de Guadalupe Hidalgo, por lo cual Ciudad de México no reconoció su existencia durante un largo periodo.

La traza de esta colonia es de retícula con un diseño original de manzanas alargadas en el sentido norte-sur.

Colonias Maza-Felipe Pescador-Popular Rastro

En el "Mapa de Referencia" aparece un polígono de lo que actualmente corresponde a tres colonias de Ciudad de México: Maza, Felipe Pescador y Popular Rastro. Estas colonias, localizadas al norte de la mancha urbana de la entonces Ciudad de México, en el plano referido de 1909 colindaban al norte con la colonia Valle Gómez, al sur con el barrio de Tepito, al oriente con terrenos baldíos y al poniente con el ex-Hipódromo de Peralvillo. El proyecto original de estas tres colonias se asienta sobre una superficie aproximada de 47 hectáreas.

La colonia Maza, que forma parte del polígono que nos ocupa, data del año 1894, cuando el propietario del rancho La Vaquita, José Maza, solicitó subdividir el mismo para proceder a la urbanización de estas tierras.

La colonia Felipe Pescador lleva dicho nombre por su promotor, quien vivió de 1879 a 1929 y fue un personaje ampliamente reconocido en el medio ferroviario por su lucha sindical y propuesta de la nacionalización de los ferrocarriles a favor de México.

Esta colonia originalmente era parte de la colonia Maza que ocupaba parte de los terrenos propiedad de Ferrocarriles Nacionales, mismos que en 1946 fueron cedidos para un conjunto habitacional en beneficio de los trabajadores ferrocarrileros. Por lo anterior puede decirse que aun cuando su diseño es de época porfirista, su ocupación se dio después de la Revolución. Desde sus orígenes, esta

colonia se convirtió en asiento de familias de bajos ingresos convirtiéndose paulatinamente en familias de clase trabajadora. Esta colonia se escindió de la colonia Maza cuando se dio la cesión antes mencionada.

Colonia Romero-Rubio

La colonia Romero Rubio actualmente se emplaza en una superficie aproximada de 62 hectáreas con una traza de manzanas perfectamente cuadradas.

Se cuenta que la urbanizó el mismísimo presidente Porfirio Díaz en 1909, nombrándola en honor al apellido de don Manuel Romero Rubio, quién en 1884 fungió como secretario de Gobernación y que además era padre de Carmen, con quien contrajo matrimonio en 1881.

Los terrenos donde se localiza la colonia se consideraban “muy buenos”, pues eran paso obligado al complejo turístico ubicado en el cerro del Peñón, donde existía un manantial de aguas medicinales que hacía de este balneario un lugar muy preciado.

En el proyecto original de la colonia Romero Rubio que se muestra en el “Mapa de Referencia” se incluyen partes de colonias actualmente conocidas como Primero de Mayo y Revolución, por ello la poligonal de la Romero que aparece en el plano señalado corresponde a 86 ha aproximadamente.

Colonia Morelos

El proyecto que se presenta de la colonia Morelos en el “Mapa de Referencia” incluye tres barrios históricos de Ciudad de México: La Lagunilla, Peralvillo y Tepito. Se estima que en estos asentamientos habitaban a finales del siglo XIX más de 10,000 personas, prácticamente todos obreros, jornaleros, trabajadores y artesanos de todo tipo, que vivían en grandes “vecindades” o pequeñas viviendas.

Actualmente, esta colonia colinda al norte con Canal del Norte, al sur con el Eje 1 Norte Héroes de Granaditas, al oeste con el Paseo de la Reforma, y al este con el Eje 1 Oriente Av. del Trabajador. Es importante aclarar que estas colindancias difieren mucho de las que se aprecian en el plano antes señalado, pues el área para esta región que ahí se presenta es de 190 ha aproximadamente y su traza puede considerarse como de cuadrícula irregular.

El precursor de la colonia Morelos, incluyendo las antiguas colonias de La Bolsa y la Díaz de León, fue el cura Juan Violante, párroco de Santa Catarina. En 1882, después de adquirir el rancho de Granaditas, inició su fraccionamiento en 1884.

Crecimiento urbano 1920-2020

En el año 1920 la población de Ciudad de México era un poco más de 900,000 habitantes. Para 1921 la superficie alcanzó 4,637 ha y se estimaba una densidad de 195 hab/ha. Es decir, volvió a aumentar la densidad con relación a la de 1910.

Para 1930 la población de la ciudad registró 1,231,000 habitantes, en un área de 8,608 ha, casi el doble de la registrada en 1929, y por ende una baja en la densidad a 143 hab/ha. En los dos planos que consigna la figura 29, y considerando el SIG antes señalado, se muestra la condición ya descrita para los años 1920 y 1930.

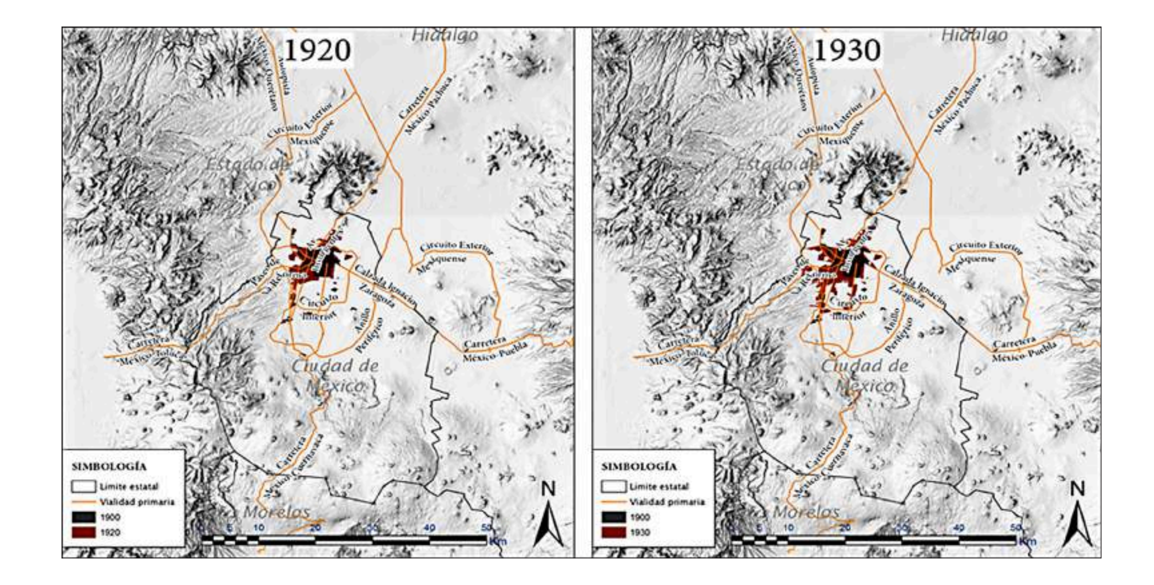


Figura 29. Crecimiento urbano 1920-1930.
Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

En el año 1940 la ciudad registró 1,957,000 habitantes en un área de 11,753 ha, y una densidad de población de 167 hab/ha, cifra ligeramente superior a la de 1930. Para 1950 la población de la ciudad aumentó a 3,341,000 habitantes, ocupando una superficie de 24,058 ha, casi el doble de la registrada en 1940, es decir, el índice poblacional se incrementó respecto a 1940 y duplicó en gran medida su tamaño. Para 1950 la densidad se estimaba en 139 hab/ha. La figura 30 muestra los dos planos correspondientes a dicho crecimiento.

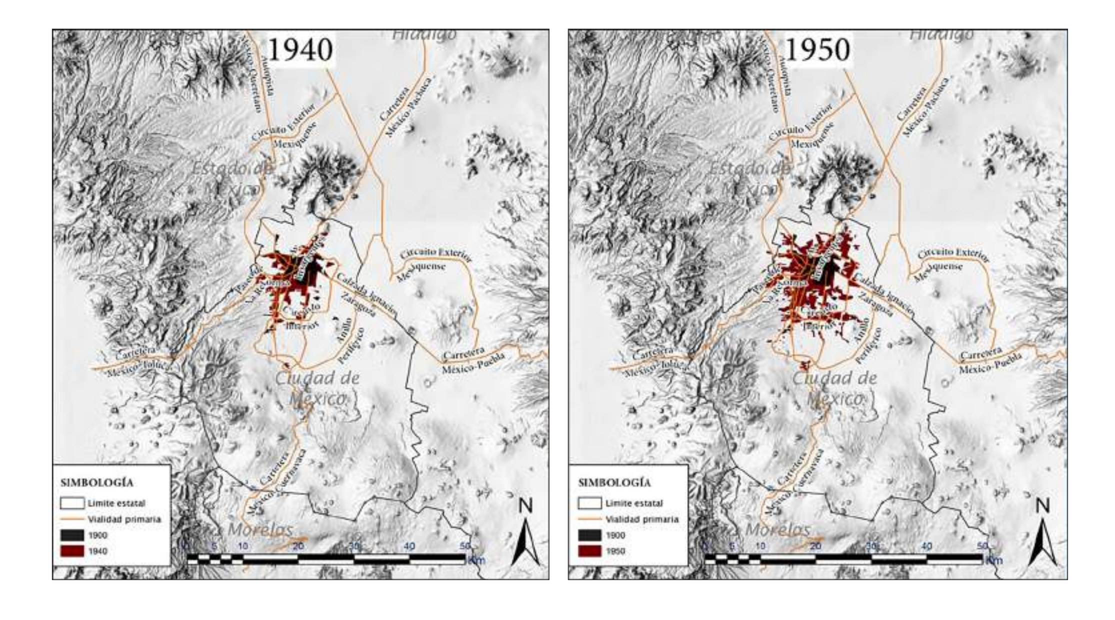


Figura 30. Crecimiento Urbano 1940-1950.
Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

En el periodo comprendido entre el inicio de la década de 1960 y finales de 1970, la ciudad tuvo un crecimiento poblacional muy rápido y elevado, por ello, la mayor densidad histórica registrada se da en el año 1970, alcanzando los 237 hab/ha, para una población de 9,094,000 habitantes, alojados en una superficie de 38,437 ha. Las cifras registradas en 1960 fueron del orden de: 5,461,000 habitantes en un área de 27,198 ha, y una densidad de 201 hab/ha.

Un aspecto importante a comentar es que para 1960 la mancha urbana de la Ciudad de México se desbordó hacia el poniente, en los límites del D.F. hacia Naucalpan. Este fenómeno se observó claramente en el plano de 1970, cuando se

expandió hacia otras áreas del Estado de México, en el oriente por Ciudad Nezahualcóyotl y al poniente por Atizapán, Naucalpan y Tlalnepantla.

A continuación en la figura 31, se presentan los planos correspondientes a los años 1960 y 1970.

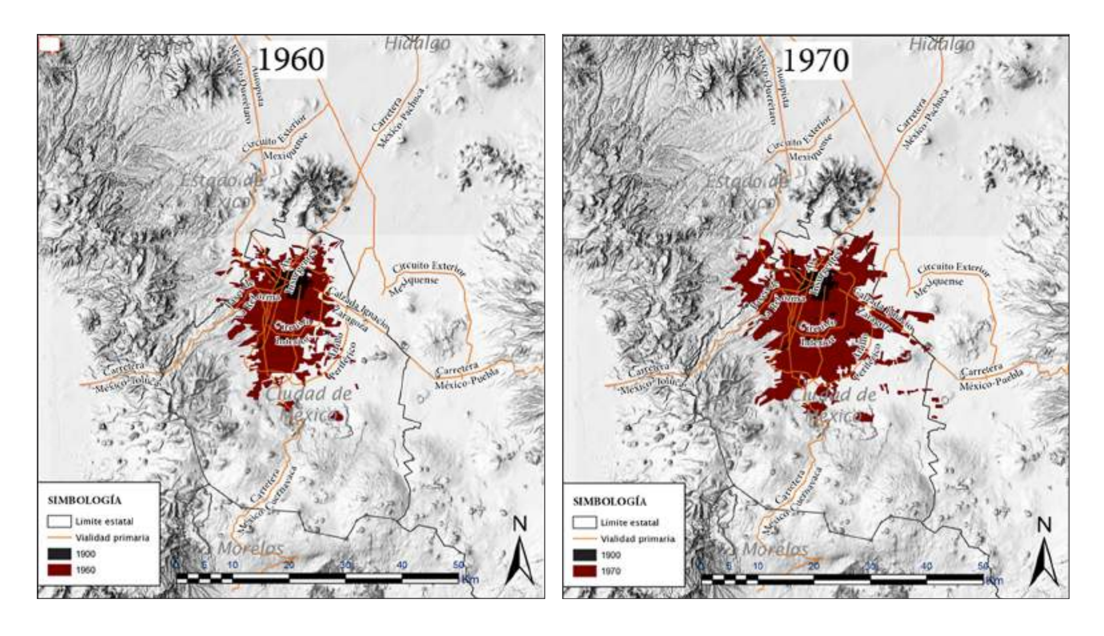
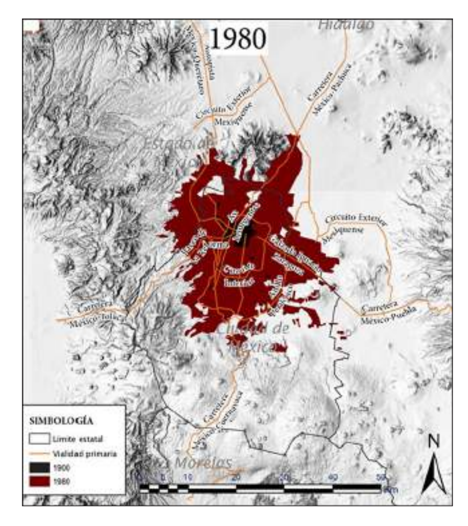


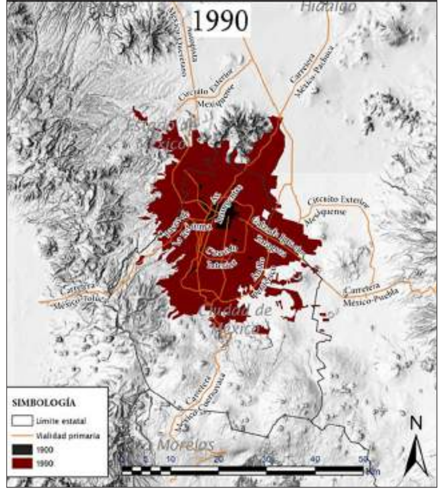
Figura 31. Crecimiento urbano Ciudad de México, 1960-1970. Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

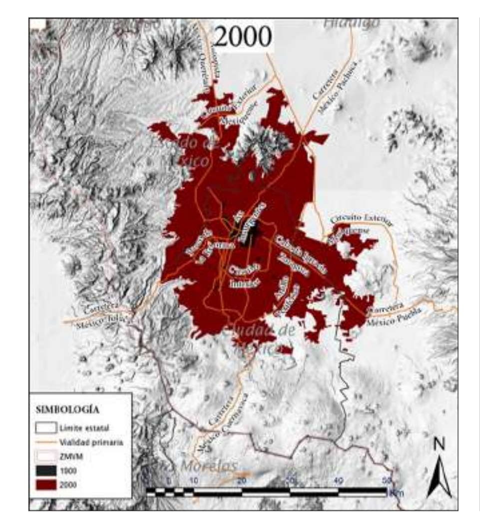
De 1980 hasta el año 2015 la ciudad se expandió mayoritariamente hacia los municipios del Estado de México que poco a poco se van conurbando, y de manera no tan creciente hacia el sur, ocupando partes del área de preservación ecológica de la Sierra de Chichinautzin. La figura 30 presenta las estadísticas correspondientes al periodo que se menciona.

AÑO	POBLACIÓN MILES	SUPERFICIE HECTÁREAS	DENSIDAD DE POBLACIÓN
1980	12.895	75,022	172
1990	15.564	87,000	179
2000	18.397	135,000	136
2010	20.117	162,700	124
2015	20.320	150,518	135

Figura 32. Crecimiento urbano CIudad de México, 1980-2015. Fuente: INEGI: población, superficie y densidad. Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.







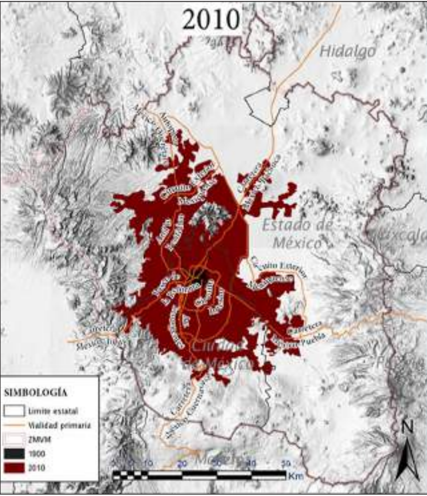


Figura 33. Crecimiento urbano CIudad de México, 1980-1990, 2000-2010. Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

Como puede observarse, en el año 2010 la ZMVM registró una población de 20,116,842, ocupando una superficie total urbanizada de 1,627 km², y con una densidad de población estimada de 124 hab/ha, la más baja desde su fundación, lo cual demuestra un "desparramamiento" con relación a la expansión urbana. Lo anterior ha provocado una cada vez mayor ineficiencia en el uso de la infraestructura urbana. La figura 34 muestra un mapa elaborado con datos del SIG del Laboratorio de Planeación Urbana y Regional del CIAUP-FA-UNAM, donde se presenta la condición de la ZMCM en el año 2010, sobreponiendo en el mismo el contorno de la zona lagunar existente en 1521. La figura 35 consigna datos de población, superficie y densidad del AMCM del año 1900 al año 2019.

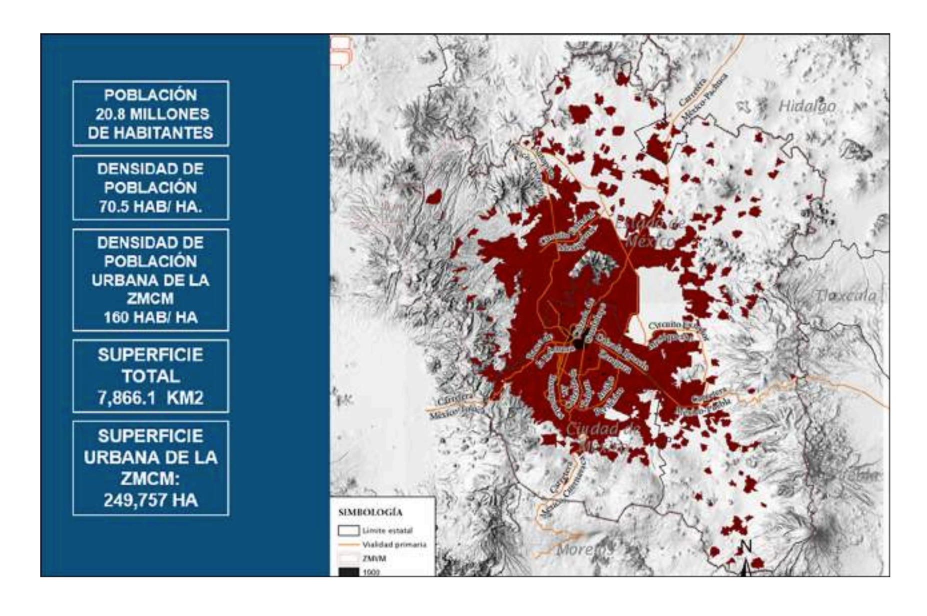


Figura 34. Mancha urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

Es importante hacer notar lo siguiente:

- Los datos que aparecen en la figura 34 no coinciden con los de la tabla mencionada, esto porque los datos de este plano corresponden a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) en tanto que los datos de la tabla 35 se refieren al AMCM, siendo estos dos conceptos diferentes.

AÑO	POBLACIÓN (MILLONES)	ÁREA (HA) (E)	DENSIDAD DE POB. (HAB./HA)
1900	0.541 (a)	2,713	199
1910	0.721 (a)	4,125	175
1920	0.906 (a)	4,637	195
1930	1.231 (a)	8,608	143
1940	1.957 (b)	11,753	167
1950	3.341 (b)	24,058	139
1960	5.461 (b)	27,198	201
1970	9.094 (b)	38,437	237
1980	12.895 (b)	75,022	172
1990	15.564 (c)	87,000	179
2000	18.397 (c)	135,000	136
2010	20.117 (b)	162,700	124
2015	20.320 (d)	150, 518	135 (f)
2019	20.945 (d)		
(a) Inegi. Censos de Población y Vivienda del D.F.			
(b) Inegi. Censos de Población y Vivienda del D.F. y del Estado de México			
(c) Conapo. “Delimitación de las zonas metropolitanas de México.2005			
(d) Conapo. “Proyecciones de la población de los municipios”			
(e) Laboratorio de Planeación Urbana y Regional CIAUP_FA_UNAM. “SIG Valle de México 1900-2018”			
f) OCED. “Territorial Rewieres: Valle de México, México”, 2015.			

Figura 35. Tabla Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2010.
Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional

- El año que aparece con mayor densidad poblacional es 1970 con 237 hab/ha, con una disminución de este indicador con relación al año 2015, estimándose en este último año alrededor de los 135 hab/ha. Este cálculo elaborado en 2015 por la OCDE, y por ende la superficie del AMCM, aparece menor que el 2010, lo cual no corresponde con resultados que se obtendrían del SIG utilizado por el autor, por ello estas dos cifras aparecen con rojo en la tabla que se presenta.

Con relación al crecimiento poblacional de Ciudad de México, en las gráficas que a continuación se presentan figuras 36-39 puede observarse lo siguiente:

- Del año 1900 al 2019, claramente se observa para todo el periodo un crecimiento poblacional positivo, aunque dicho crecimiento, con relación al periodo de 1900 a 1980, poco a poco se va acelerando, pero a partir de este último año y hasta el 2019 el crecimiento observa una lenta desaceleración.
- Este fenómeno en términos de cómputo rápido se puede obtener mediante la tendencia denominada *media móvil* con la aplicación de Excel, sin embargo, este software no da a conocer la ecuación con la que se calcula la tendencia.
- En términos estadísticos en las ciencias duras, se modela utilizando una función logística representada por una curva en forma de S y con la ecuación que a continuación se expone:

$$y=L/(1+ke^{-at})$$

En donde:

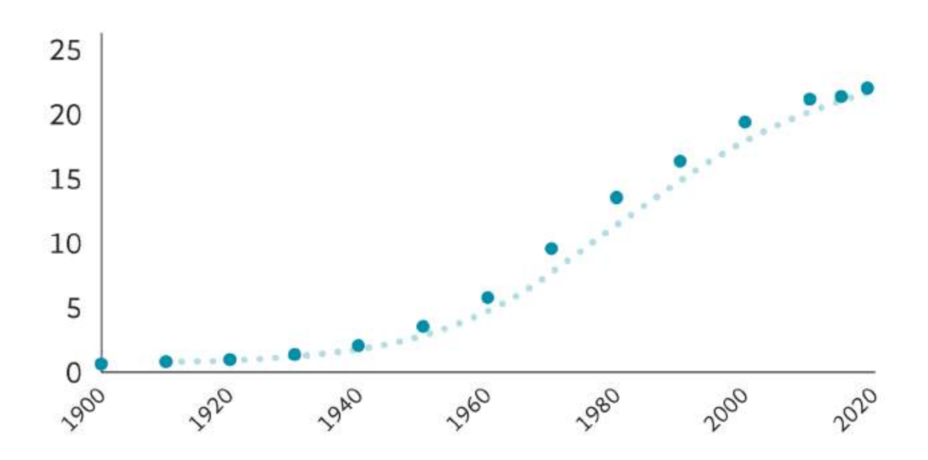
y = Variable dependiente, en nuestro caso, la población de analisis en el rango de tiempo de un particular experimento.

e = La constante de Euler, e^{-t} se usa para estimar rangos de números reales pequeños.

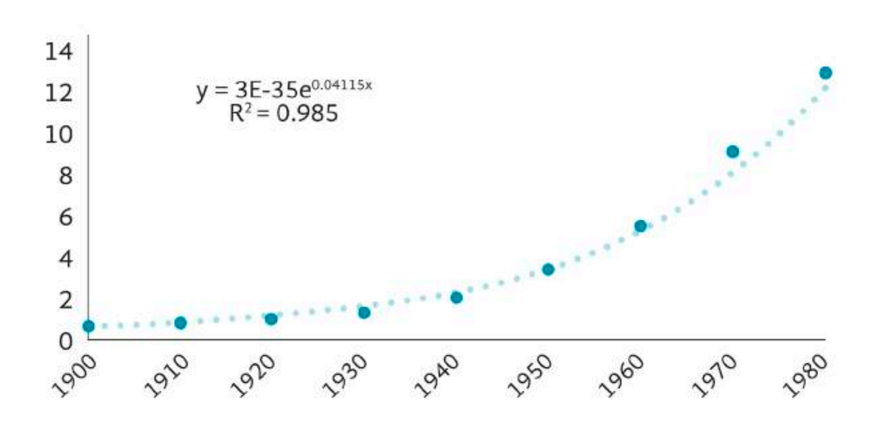
t = Es una de las variables independientes que representa al tiempo del analisis, que puede ir desde $-\infty$ a $+\infty$.

- La información sobre el crecimiento poblacional observado para nuestro caso de estudio presenta la siguiente gráfica que se acerca mucho a una logística. La línea en rojo es una curva de ajuste denominada "media móvil periodo 2" y que básicamente representa este fenómeno. Es una estadística calculada utilizando un conjunto de datos a modo de puntos para crear series de promedios
- Para facilitar el entendimiento de este fenómeno, dividiremos el análisis en dos tiempos. El primero considerando el periodo de 1910 a 1980, donde se da un crecimiento exponencial acelerado, es decir, entre más se crece más se acelera este crecimiento. Esto, contrastando con el periodo 1980-2019, en el cual se observa también crecimiento pero que se puede definir con una función logarítmica, es decir se crece, pero poco a poco se desacelera el crecimiento.
- Para el periodo 1900 al año 1980 la función exponencial observada muestra una altísima correlación, pues se estima una R^2 de .985. Es importante señalar que el número de observaciones es muy pequeño, sin embargo, la gráfica correspondiente nos muestra una clara tendencia para el periodo señalado.
- Para el periodo 1980 al 2019 se estima una función logarítmica también con una altísima correlación, pues se estima una R^2 de .967. En este caso, como en el otro experimento, resulta importante señalar que el número de observaciones es muy pequeño, sin embargo la gráfica correspondiente muestra una clara tendencia para el periodo estudiado.

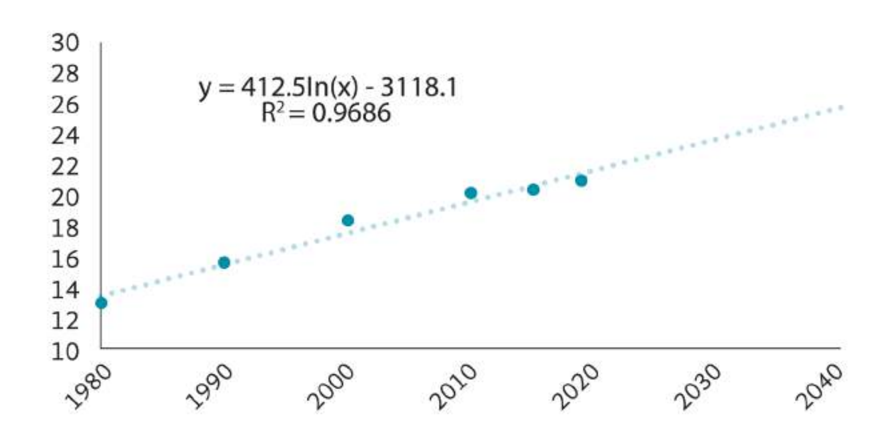
En términos del crecimiento de la superficie ocupada por Ciudad de México, desde 1900 hasta el año 2019 puede observarse en la "serie de tiempo" correspondiente una altísima correlación, ya que la R^2 para la función exponencial que representa este fenómeno es de .9906. Lo anterior contrasta con los resultados observados en el crecimiento poblacional, pues se esperaría que en la medida que el crecimiento se desacelera, también disminuye el crecimiento de la mancha urbana. Por lo tanto, se comprueba que la densidad de población va a la baja.



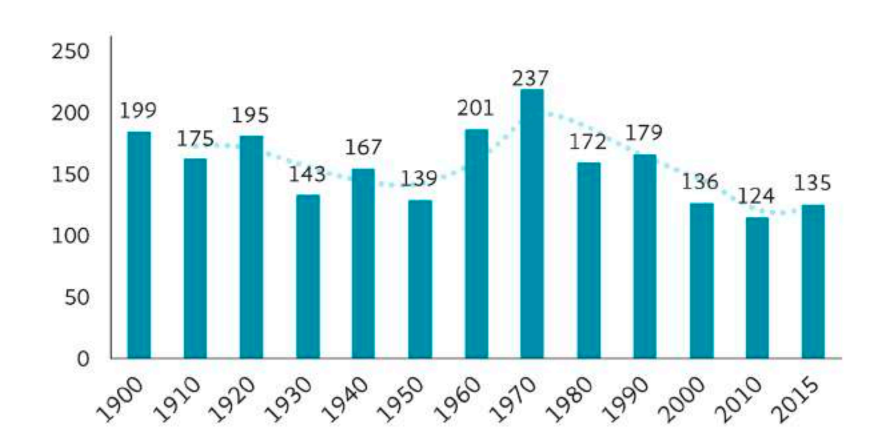
Fuente 36. Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.



Fuente 37. Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.



Fuente 38. Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.



Fuente 39. Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

DESALOJO DE AGUAS DE LOS LAGOS ORIGINALES

En 1435, el río Cuautitlán era el principal alimentador del lago de Texcoco, en ese mismo año se llevaron a cabo obras para desviarlo hacia el norte, ampliando el lago de Zitlaltepec-Zumpango. Las obras hidráulicas prehispánicas no sólo afectaron el entorno físico de la gran Tenochtitlan, además, agregaron cierta dinámica entre la población. Fue necesario adaptarse a la navegación e incluso usarlas como modo de transporte para los ejércitos. Tal como lo describe Carlos J. Sierra (1973):

> [...] se aprovechó de él para defenderse de sus enemigos, como para alimentarse [...] la primitiva ciudad tuvo sus calles principales de agua, de tal manera que para trasladarse de una a otra parte fue necesario hacerlo en canoas o acallis.

La cuenca ofrecía las condiciones ideales para aprovechar la abundante cantidad de agua que existía en el lago Texcoco-Chalco. Además, favorecido por la poca profundidad del lago, conllevó a la construcción de las chinampas. El sistema permitía represar el agua dulce que utilizaban para la cosecha. Lamentablemente la práctica se perdió después de la llegada de los conquistadores.

Después de 1521, los diques fueron destruidos junto con la ciudad, se edificaron nuevos edificios, caminos y sistemas hidráulicos. Los nuevos gobernantes y señores de la ciudad ignoraron los problemas relacionados con las inundaciones que padecerían después de la destrucción de las importantes obras hidráulicas durante el asedio del señorío español.

Según Torquemada, en 1553 cayó sobre el imperio una fuerte lluvia que: "[...] no sólo hinchó la laguna, sino también la ciudad y con tanto exceso que no se pudieron andar las calles tres o cuatro días si no era en canoas" (Ramírez ,1976).

Sin embargo, el autor, en una nota al final, sostiene que en realidad la inundación fue en 1555. Incluso asegura que muchos autores lo registraron erróneamente debido a que no la vivieron o atestiguaron.

Así fue como, para ese mismo año, el segundo virrey, don Luis de Velasco, preocupado por la situación en la que se encontraban, mandó la construcción de un albarradón, el Albarradón de San Lázaro, basándose en un modelo semejante realizado en tiempos de Ahuítzotl (Rojas, 1994). El virrey Velasco estaba tan comprometido con la tarea de desahogar la ciudad y protegerla de las épocas de lluvia que, junto con el corregidor de Atenco, García de Valverde, se propusieron desviar el río Cuautitlán para impedir que llegaran a las aguas del lago de Texcoco. La idea era represar las aguas de dicho río en el de Zumpango o Citlaltepec.

En 1580 se suscitó una nueva inundación que el virrey Martín Henríquez consideró como "otra no menor inundación". Esto llevó a la tarea de reforzar las albarradas, levantar calzadas y desarenar los ríos. Asimismo, el virrey encargó al Lic. Obregón, corregidor de la ciudad, una exploración para el desagüe directo de las aguas a los ríos, abriendo la oportunidad de pasar por Huehuetoca y Nochistongo hasta el río Tula, en Hidalgo. Sin embargo, después de los sucesos el agua regresó a su nivel normal mientras que el virrey Henríquez fue promovido a virrey de Perú. Como no se registró otra inundación, el proyecto pronto quedó en el olvido hasta 1600 (Ramírez, 1976).

Una de las obras hidráulicas más importantes para la ciudad de México tuvo sus orígenes después de las graves inundaciones que la afectaron, como la acontecida en 1580. Los diques que normalmente contenían el agua de los lagos eran insuficientes y el caudal de los ríos se desbordaba. Esta inundación duró un año y causó estragos en gran parte de la vivienda de la ciudad (Ramírez, 1976).

> El mes de agosto del año de 1604 vino a sorprender al virrey Don Juan de Mendoza [...] la mayor inundación que se había visto después de la conquista, tan grande, dice un testigo presencial, "que se hinchó esta laguna de México con todas sus llanadas, que cubrieron sus aguas casi todo el suelo de la ciudad, y llegó a punto en algunas calles que se pasaban en canoas" [...].

Tajo de Nochistongo

Conforme a lo narrado anteriormente se planeó el Tajo de Nochistongo, considerada como una de las primeras obras de la ciudad para el desalojo del agua del Valle de México. Esta obra tan importante fue propuesta por el cosmógrafo francés Henry Martin (también conocido como Enrico Martínez) en 1608, inspirado por el trabajo de Francisco Gudiel de 1555 (Legorreta, 2006).

Los dos proyectos coincidían en desviar el río Cuautitlán, el cual era el principal proveedor de agua a los lagos de San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango, para así disminuir las aguas que alimentaban finalmente al lago de Texcoco. Así, las aguas viajarían por el río Tula hasta el río Pánuco, desembocando en el golfo de México.

En 1607 el virrey promovió dichos proyectos y él mismo hizo recorridos por las obras para dirigir y controlar cualquier situación que surgiera, puesto que las obras eran de su total interés. A pesar de las demostraciones que Enrico Martínez llegó a hacerle y del elogio recibido por el geógrafo y explorador Alexander von Humboldt, al poco tiempo se dieron una serie de derrumbes que afectaron la obra, en gran medida debido a que no se consideró desde un inicio el tipo de suelo. Muchos obreros perdieron la vida a raíz de este desastre.

Como consecuencia de lo anterior se implementaron ciertas medidas de seguridad para evitar que el agua continuara fluyendo. Sin embargo, el agua destruyó cualquier plan que se implementara, hasta que se logró extender el revestimiento de mampostería, se formaron bóvedas en arco y se construyó un nuevo socavón en la parte inferior del antiguo. Se estima que las obras tardaron un año y medio en ser concluidas (Sacmex, 2012).

Pero las obras no fueron concluidas por Enrico Martínez, ya que después de la intervención de Adrián Boot y su desacreditación ante el virrey en turno, no le fue posible concluirlas. En 1623 la obra fue visitada por varios expertos, entre ellos el mismo Enrico y Adrián Boot, junto con el virrey Diego Carrillo Mendoza (1622-1624). En la inspección llegaron a la conclusión de que las obras de Nochistongo le estaban costando mucho a la Corona, que los resultados eran inciertos y no se contaba con los suficientes datos para continuar.

Después de esta terrible derrota para el ingeniero, el virrey Diego Carrillo Mendoza mandó destruir todos los diques que protegían a la ciudad con la

asesoría del mismo Enrico. Esto último con el fin de advertir si el peligro era tan grande como se había comentado. Esta decisión provocó una inundación que duró seis años (Ramírez, 1976). No sólo se perdieron viviendas, sino también muchas vidas. Los mismos habitantes de la ciudad atacaron el palacio virreinal, lo que provocó la huida del virrey. Para este momento ya se había planteado la idea de mover la ciudad hacia el poniente, ya que era un suelo más estable, pero los costos de moverla eran demasiado altos y la idea fue desechada.

En 1630, y después de muchos problemas que tuvo que pasar Enrico Martínez para defender su obra, trabajó en otro tajo a cielo abierto. Sin embargo, falleció dos años después y se cree que fue enterrado en Cuautitlán, sin saber que su obra sería retomada trescientos años después hacia finales del siglo xix.

La última propuesta de Enrico Martínez fue un canal que comenzara en el lago de Texcoco, pasando por Xaltocan y San Cristóbal hasta terminar en Zumpango, lo que a la postre sería la ruta que se seguiría para el Gran Canal del Desagüe.

A pesar de que las obras fueron abandonadas, no fue sino hasta 1635, después de la inundación de 1629, que el virrey Lope Díez de Aux y Armendáriz concluyó que era necesario conservar las que ya se habían realizado para el desagüe de las aguas y aliviar así la carga de las inundaciones y sus consecuencias. Ya para 1637 se implantó que el tajo sería a cielo abierto, con sólo modificaciones a las medidas establecidas para hacerlo más ancho y profundo, así se podrían desaguar las aguas de los ríos cercanos y las de Ciudad de México. De esta manera se reiniciaron las obras del Tajo de Nochistongo con la esperanza de expulsar las aguas de los ríos al norte y poder evitar las terribles inundaciones en épocas de lluvias y con ello darle fin a lo que se había iniciado desde mediados del siglo anterior.

Para 1674, las obras más importantes realizadas consistieron en la construcción de medios de defensa para evitar que los ríos se desbordaran y que las inundaciones siguieran afectando a la población. Y al parecer lograron el cometido, ya que, con relación a las fuertes lluvias registradas en 1674, la ciudad no sufrió más que simples encharcamientos, lo cual devolvió las esperanzas y se dio continuidad a las obras relacionadas con el tajo. Lamentablemente, para finales del siglo, las obras se detuvieron después de muchos errores que se suscitaron, los cuales

provocaron derrumbes. Dichos errores se presentaron después de la muerte de Enrico Martínez, siendo sus sucesores Manuel Cabrera y después Martín de Solís.

No fue sino hasta 1767 cuando Carlos Francisco de Croix recaudó fondos para la continuación de las obras del Tajo de Nochistongo. Dichos fondos se recaudaron con el aumento de un par de impuestos y pidiendo donaciones a la clase alta a modo de aportaciones voluntarias, estas últimas representarían la generosidad de dichas personas, así como su contribución al bien común (Sacmex, 2012). Finalmente, con el virrey Manuel Antonio Flórez Maldonado, y sin dejar de mencionar a todos los fallecidos que participaron en su construcción, casi dos siglos después de la concepción de la idea y el desarrollo del proyecto, el 8 de junio de 1789 se completó la obra con una longitud de 12,986.49 metros, que si bien no daría solución plena a los problemas de las inundaciones que aquejaban a la ciudad, sí representaría un parteaguas para las siguientes obras de desagüe que se desarrollarían en la ZMVM.

La historia del Tajo de Nochistongo puede resumirse de la siguiente manera:

- Es la primera salida artificial utilizada en el Valle de México para desalojar las aguas que inundaban la capital durante la época de lluvias y que afectaban indirectamente en las elevaciones del lago de Texcoco;
- La propuesta ganadora provino del ingeniero Enrico Martínez, y los estudios y ejecución de la obra consistieron en la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, así como la edificación del canal de Huehuetoca al noreste del Valle de México. Lo que se pretendía era drenar el lago de Zumpango y con ello interceptar el río Cuautitlán para dirigir sus aguas hacia el río Tula. Esto último con la finalidad de reducir el caudal que alimentaba a todo el lago que rodeaba la cuidad;
- Fue una obra de varios kilómetros de longitud que iba desde Zumpango y que desviaba el río Cuautitlán para reducir el agua en la cuenca, principalmente la que llegaba hasta Texcoco;
- El tajo abierto tendría una longitud de 2,241 m;
- En Ciudad de México se produjeron una serie de fuertes inundaciones en 1604 y 1607 que obligaron al virrey Luis de Velasco a publicar un bando en

el que se ofrecía una recompensa a quien propusiera una solución factible al problema;

- Se elaboró un plano de la ciudad para facilitar el avalúo de la propiedad urbana, y con la finalidad de invertir en el Tajo de Nochistongo se fijó una contribución de 1% del valor catastral de los bienes inmuebles;
- El túnel falló por falta de revestimiento en la galería, lo que provocó derrumbes que lo hicieron inoperante. Finalmente se decidió sustituirlo por un tajo o zanja, el cual quedaría terminado muchos años después a causa de numerosas dificultades que se presentaron;
- La obra inició operaciones en el año de 1789;
- En la actualidad, el Tajo de Nochistongo desaloja al Interceptor Poniente con una capacidad de 30 metros cúbicos por segundo.

Túneles de Tequixquiac

El primer túnel de Tequixquiac tuvo como propósito desalojar la abundante agua de lluvia del Valle de México. Podemos hacer referencia al llamado del virrey D. Juan de Mendoza, quien en 1605 llamó a realizar una obra de desagüe "[...] que desembocara en la cañada del pueblo del Tequizquiac" (Ramírez, 1976), y la cual se dio en marzo de 1630 por Simón Méndez, "modesto vecino de Michoacán" (Gayol, 1965).

Se trataba de "[...] la apertura de un canal que partiría desde el lago de Tetzcoco, el cual unido a un túnel de 13,000 metros de longitud que se ejecutaría con el auxilio de 28 lumbreras, daría salida a las aguas del Valle por el río de Tequixquiac" (Gayol, 1965).

A pesar de haber sido aceptado por el gobierno en turno, sólo se construyeron 4 de las 28 lumbreras contempladas, para finalmente ser olvidado y abandonado debido a problemas políticos.

En 1744, el matemático D. Joaquín Velázquez de León propuso nuevamente la idea de Simón Méndez, que permaneció temporalmente en el olvido hasta 1848, al ser retomada por el teniente norteamericano M.L. Smith y en 1856 por el ingeniero D. Francisco de Garay, quien ideó un canal con origen en la exgarita de San Lázaro (actualmente frente al edificio del H. Congreso de la Unión),

conectado con un túnel y que desembocaba en el arroyo de Ametlac, confluente del río de Tequixquiac.

Esta obra fue una de las más importantes para la ingeniería de aquel entonces. Se buscó emplear compañías extranjeras. Sin embargo, las obras fueron abandonadas por los constructores y finalmente fue el gobierno quien la terminó. La construcción del primer túnel de Tequixquiac se culminó en 1900. El segundo comenzó a construirse a mediados del siglo XX, específicamente en 1946, y ambos se finalizaron tres años después, en 1949. Las figuras 40 a y b documentan graficamente la "boca" de entrada del túnel de Tequixquiac.


a



b

40 a y b. Túnel de Tequixquiac Siglo XIX. Fuente: El gran reto del agua en la Ciudad de México, Sacmex. Foto: Claudia Terrón.

La historia de los túneles de Tequixquiac puede resumirse de la siguiente manera:

- Después de fuertes inundaciones que se suscitaron a inicios del siglo XVII, el cosmógrafo alemán Enrico Martínez propuso construir un gran desagüe artificial desde el lago de Texcoco hasta el río Tula, con la finalidad de conducir el agua de la cuenca hasta el golfo de México por los afluentes de los ríos Moctezuma y el Pánuco.

- En 11 meses 450,000 indígenas construyeron un túnel de 7 kilómetros de largo y 50 metros de profundidad, al cual años más tarde se le uniría un canal abierto, el Tajo de Nochistongo.
- Es un canal de sección trapecial a cielo abierto con una longitud de 47 km que va de San Lázaro, Ciudad de México, a la población de Tequixquiac, Estado de México.
- Desde 1792 se suscitaron nuevas inundaciones que hicieron evidente que el Tajo de Nochistongo no era suficiente para drenar las aguas excedentes del Valle de México.
- En 1803 Alexander von Humboldt analizó el problema y concluyó que debía completarse con un gran canal de desagüe.
- En 1856 se produjeron nuevas inundaciones, por lo que el ministro de Fomento, el Ing. Manuel Siliceo, abrió una convocatoria para el proyecto del canal. El proyecto ganador, del ingeniero Francisco de Garay, comprendía un tajo, un túnel y un canal, complementándolo con tres canales secundarios, el del Sur, el de Oriente y el de Occidente.
- En 1867, el emperador Maximiliano de Habsburgo autorizó el proyecto del Gran Canal del desagüe y el túnel de Tequixquiac.
- Inició la construcción del canal abierto de desagüe de 47 km, desde el lago de Texcoco hasta Zumpango, y de ahí al pie de las montañas. Se perforó por segunda ocasión la cuenca con un túnel de 11 kilómetros de largo y 4 metros de diámetro conocido como el primer túnel de Tequixquiac.
- El primer túnel comenzó a funcionar en 1900, siendo inaugurado por el presidente Porfirio Díaz.
- El segundo túnel se concluyó en 1946 durante el periodo presidencial de Manuel Ávila Camacho, que comenzó a funcionar entre septiembre de 1947 y mayo de 1948, cuando el nuevo túnel sufrió infiltraciones que llegaron a alcanzar los 50 cm. Por fin reinició operaciones en 1950.
- En 1947 el doctor Nabor Carrillo identificó que existía un hundimiento en la ciudad debido a la consolidación de las arcillas lacustres del acuífero superior por la pérdida de presión hídrica que producía la extracción de agua.

- Después de las inundaciones de 1950 y 1951, se propuso la construcción del gran Emisor Poniente, de 32.3 km de longitud, el cual iría desde Naucalpan hasta Tepotzotlán, Estado de México, y el cual sería destinado únicamente para el desalojo de aguas pluviales, evitando con ello la sobrecarga del Gran Canal. Fue construido con concreto de 50 cm de espesor.
- En la actualidad existe un desnivel de 2 metros entre la ciudad y el lecho del lago de Texcoco. En cuanto al drenaje referente al Gran Canal, y a pesar de los hundimientos de 2 metros por debajo de su nivel que por aproximadamente un siglo ha sufrido la ciudad (actualmente el Zócalo capitalino se encuentra a 7 metros por debajo de la parte más alta del canal), los túneles siguen funcionando, pero con ayuda de plantas de bombeo para desalojar las aguas, debido a que la pendiente de los túneles con respecto a la ciudad se ha invertido.
- El Gran Canal ha perdido su capacidad de desalojo, estableciendo su límite a un máximo de 40 m^3/s, ayudado por una estación de bombeo ubicada en el km 18+600.

El Gran Canal del Desagüe

La decisión de ejecutar el proyecto conocido actualmente como el Gran Canal del Desagüe, se dio el 27 de abril de 1866 a raíz de las inundaciones de 1865 (Gayol, 1965). El proyecto seguiría las ideas del teniente Smith, y se comisionó su ejecución al ingeniero D. Miguel Iglesias, quien proyectó la desembocadura del canal en la barranca de Tequixquiac, con un trazo de 39.5 km, y el cual "[...] partía del centro de la laguna de Tetzcoco y tenía entonces por objeto extraer el agua de este depósito en la cantidad suficiente para impedir inundaciones a la Ciudad de México" (Espinosa, 1902).

A la ejecución de este primer proyecto se le conoció como el primer periodo del desagüe, ocurrido durante el gobierno de Maximiliano (Espinosa, 1902). Estos trabajos fueron suspendidos debido a la guerra de Reforma y marcaron el fin de la administración del emperador Maximiliano.

Tiempo después, el trazo original fue modificado durante el gobierno del presidente Benito Juárez, contando con un tramo secundario que serviría como

emisor del sistema de "atarjeas" de la ciudad de México, el cual iniciaba en la garita de San Lázaro y se unía al tramo principal en el km 20 del Canal. La longitud del trazo de este último, en el segundo periodo del desagüe, era de 49 km. Finalmente, el presidente Porfirio Díaz ordenó crear una Junta Directiva del Desagüe del Valle de México. Dicha Junta estaría a cargo de la obra, la cual se puso en marcha hasta 1886, 21 años después de su aprobación. Sin embargo, la dirección de la Junta Directiva sólo duraría un año y su avance sería de tan sólo 184,085 m^3 de excavación.

Posteriormente se ordenó alojar el trazo del Canal en la orilla poniente del lago de Texcoco, con un trazo proyectado de 48.1 km y su desembocadura coincidía con la entrada del túnel de Tequixquiac, en las inmediaciones del pueblo de San Andrés Xaltenco. El primer túnel fue terminado en 1894 y la prueba preliminar se realizó en 1895 (Legorreta, 2006). Sin embargo, las obras posteriores se vieron afectadas por derrumbes en pequeños tramos del Canal, lo que requirió de un esfuerzo extra.

En el año 1899 fue necesario poner en marcha el resto del Canal, puesto que las lluvias que se registraron fueron muy intensas. El trazo final fue de 47.527 km para el llamado tercer periodo del desagüe (Espinosa, 1902), mismo que se inauguró el 17 de marzo de 1900 por el presidente Porfirio Díaz (Legorreta, 2006). En la tabla número 38 se expresa la conformación de la obra:

Esta obra representó un parteaguas en la historia de la ciudad de México, pues la gran capacidad que se adquirió para desalojar las aguas del lago dio paso a la gran expansión urbana que se suscitó a partir del año 1920, pasando de una población de 906,000 habitantes, en una superficie de 46 km^2, a una población en el año 1950 de 3,341,000 habitantes repartidos en 240 km^2. Además, fue el principio de un plan de saneamiento de la ciudad que dio lugar a la instalación de una red de alcantarillado que permitió la expulsión de las aguas al Gran Canal. El plan del gobierno era eliminar las inundaciones que reiteradamente sufría la ciudad y reducir de esta manera los índices elevados de mortandad de los habitantes. Si bien el problema no fue erradicado totalmente, sí hubo una disminución de las inundaciones.

AÑO	VOL. TOTAL EXCAVADO (M^3)	EJECUTOR
1886	184,085	Junta directiva
1887	411,817	Bucyrus
1888	817,917	Bucyrus
1889	2,197,200	S. Pearson & Son
1890	2,702,160	S. Pearson & Son
1891	4,147,528	S. Pearson & Son
1892	6,794,197	S. Pearson & Son
1893	7,988,533	S. Pearson & Son
1894	9,588,239	S. Pearson & Son-Read & Campbell
1895	10,740,643	S. Pearson & Son-Read & Campbell
1896	11,056,427	S. Pearson & Son
1897	11,112,975	S. Pearson & Son
1898	11,365,762	Junta directiva
1899	11,414,086	Junta directiva

Figura 41. Avances del Gran Canal por año.
Fuente: *El gran reto del agua en la Ciudad de México*. Sacmex, 2012. p. 38.

Lamentablemente, el túnel original de Tequixquiac dejó de ser suficiente y de 1937 a 1946 se construyó un segundo túnel el cual entró en operación en 1955. Durante esta época comenzó la problemática de los hundimientos en la ciudad, a la que se suma la interminablemente creciente y precipitada demanda de agua.

Resumiendo, la situación actual del Valle de México puede manifestarse de la siguiente manera:

- Cuenca endorreica (cerrada) dependiente de otras regiones para su abastecimiento de agua.
- La demanda de agua por habitante es muy alta en comparación con otras ciudades del mundo.

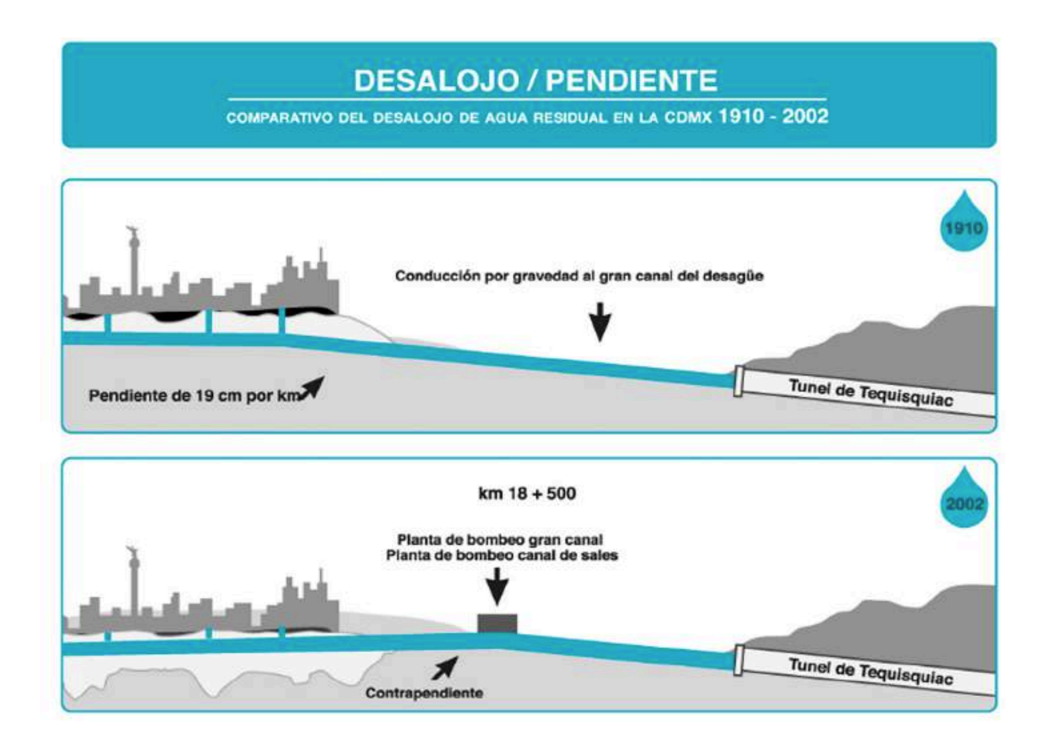


Figura 42. Comparativo del desalojo de agua residual en la CDMX, 1910- 2002.
En esta ilustración se muestra cómo ha cambiado el perfil de la ciudad y la manera en la que se expulsa el agua residual.

- Los asentamientos humanos que allí se ubican no tratan sus aguas negras, las cuales se descargan sin tratar en el estado de Hidalgo.
- Todos sus mantos de agua están mediana o altamente contaminados.
- Habitan en el valle más de 19 millones de personas.
- Concentra 30% de las actividades económicas del país.
- Los diversos planes que se han realizado no permitieron un desarrollo equilibrado y sustentable.
- La contaminación del aire ha mejorado, sin embargo, todavía estamos lejos de alcanzar la calidad requerida o esperada.

Lagos

En el Valle de México los ríos fueron muy importantes para recargar sus cinco lagos: el de Texcoco, Xaltocan, Xochimilco, Chalco y Zumpango. Asimismo, existen corrientes de agua cristalina en la parte alta del Valle que alimentan estos lagos y que en la actualidad no han sufrido cambio alguno por la expansión urbana. Otros ríos fueron modificando su trayecto natural como el caso del río Cuautitlán



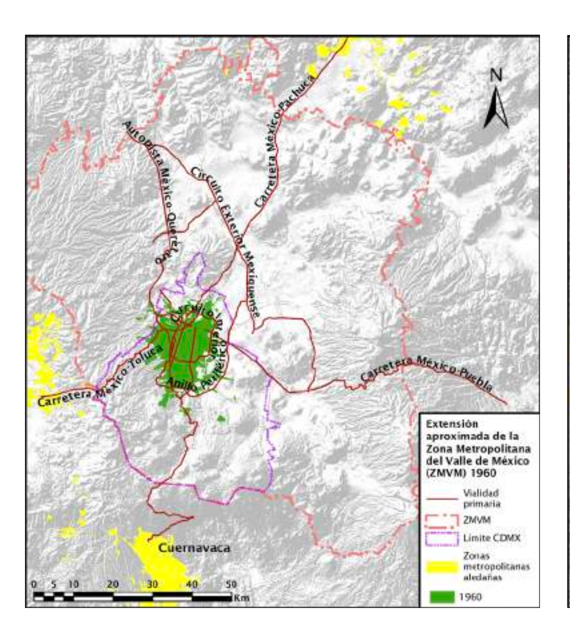
Figura 43. Recuperada de: Wikipedia, Valle de México. Marzo 2022.

(1435), que desembocaba en el lago de Texcoco como uno de sus principales fuentes de recarga.

Sin embargo, hemos hablado de las inundaciones que afectaron a la ciudad al inicio de la Colonia y que la necesidad de desecar los lagos fue uno de los grandes retos para la misma. Lo más importante consistía en contener el agua que llegaba al Valle, tanto de los ríos como del agua de lluvia. A partir del siglo XVIII y hasta el siglo XX se comenzaron a entubar acequias, por lo que se procedió al entubamiento de los ríos de la Piedad, el Consulado y la Verónica.

Aguas superficiales

Al Valle de México llegan muchos ríos, los cuales por siglos han dotado de agua a las diferentes comunidades que ahí han habitado. Sin embargo, a partir de la Conquista surgió la percepción, de acuerdo con los españoles, de que la aguas eran



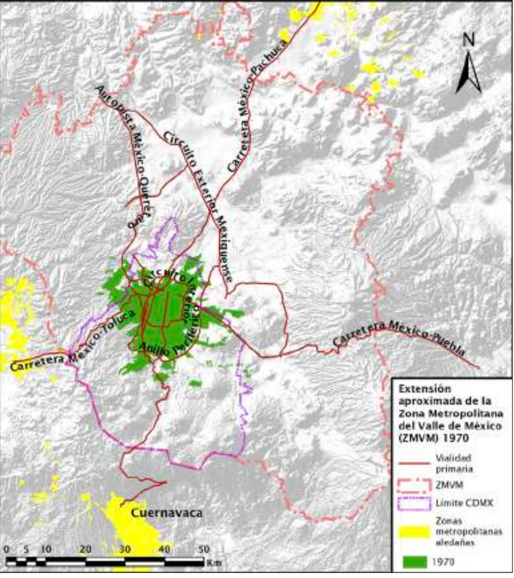


Figura 44. Crecimiento urbano Ciudad de México, 1960-1970.
Fuente: Laboratorio de Planeación Urbana y Regional de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

insalubres. Lo anterior simplemente como pretexto para apropiarse de las tierras y repartirlas entre ellos (Legorreta, 2006).

Aguas subterráneas

Como se mencionó anteriormente, un porcentaje importante del agua potable que utiliza la ciudad se extrae del acuífero existente en el subsuelo. Sin embargo, no es el único acuífero explotado con este fin. La ZMVM también se abastece de otros acuíferos pertenecientes al mismo Valle: el Cuautitlán-Pachuca, el Texcoco y el Chalco-Amecameca (Banco Mundial, 2015). Sin embargo, estos se encuentran sobreexplotados, pues el ritmo al cual se recargan con las lluvias es mucho menor al de su extracción.

Crecimiento de la mancha urbana *vs.* desecación de los lagos

Después de la Conquista, en 1650, y a la par de obras como el Tajo de Nochistongo, se construyó un acueducto que llegaba hasta la tan conocida fuente de Salto del Agua. De longitud media aproximada de 3 kilómetros, su agua no era potable ni tampoco había un sistema de toma domiciliaria. Este acueducto fue destruido en 1886. De igual forma, existió por un tiempo otro acueducto conectado a las costas de Coyoacán, el cual desapareció antes de la Conquista. Posteriormente, durante la Colonia, se construyó el acueducto de Belén, con un trazo similar al

original acueducto de Chapultepec (mismo que fue destruido y reparado por los españoles) pero más pequeño. Este último llevaba sus aguas hasta la fuente de Salto del Agua, de la cual sólo queda una copia, pues la original fue movida al convento de Tepotzotlán (Legorreta, 2006).

A principios del siglo xx (1905-1908), por órdenes del presidente Porfirio Díaz, se ejecutaron obras para extraer abundante agua que se encontraba en los mantos acuíferos de Xochimilco, desde San Luis Tlaxialtemalco hasta los tanques de almacenamiento ubicados en Molino del Rey, Chapultepec. Esto se logró con el apoyo de una planta de bombeo ubicada en la colonia Condesa (Legorreta, 2006). Sin embargo, los 2.3 m^3/s que aportaba no eran suficientes para una ciudad en constante expansión.

EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL S.XX

En el Valle de México se localiza la Región Hidrológico-Administrativa XIII, denominada Aguas del Valle de México. Comprende las 16 alcaldías de la CDMX, 62 municipios del Estado de México, 39 municipios del estado de Hidalgo y 4 municipios del estado de Tlaxcala.

Esta Región atiende a una población aproximada de 21.5 millones de habitantes en el Valle de México, así como 1.9 millones en la zona metropolitana del valle de Toluca.

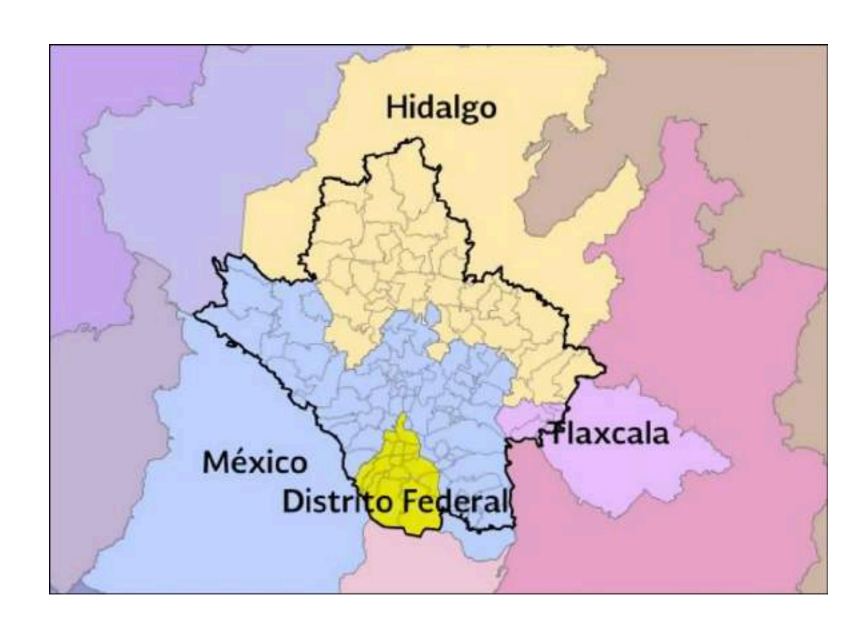


Figura 45. Región hidrológica-administrativa XIII. Fuente: Programa Nacional contra Contingencias Hidráulicas. Elaboración de Fernando Greene Castillo.

De acuerdo con Carlos Ibarra, "a nivel metropolitano, la dotación de agua potable llega a los 81.9 m^3/s, de los cuales un 75.95% (64.7 m^3/s) provienen del subsuelo del Valle de México, 5.86% (4.8 m^3/s) de la cuenca del Lerma y 18.19% (14.9 m^3/s) del sistema Cutzamala" (Sedesol, 2012).

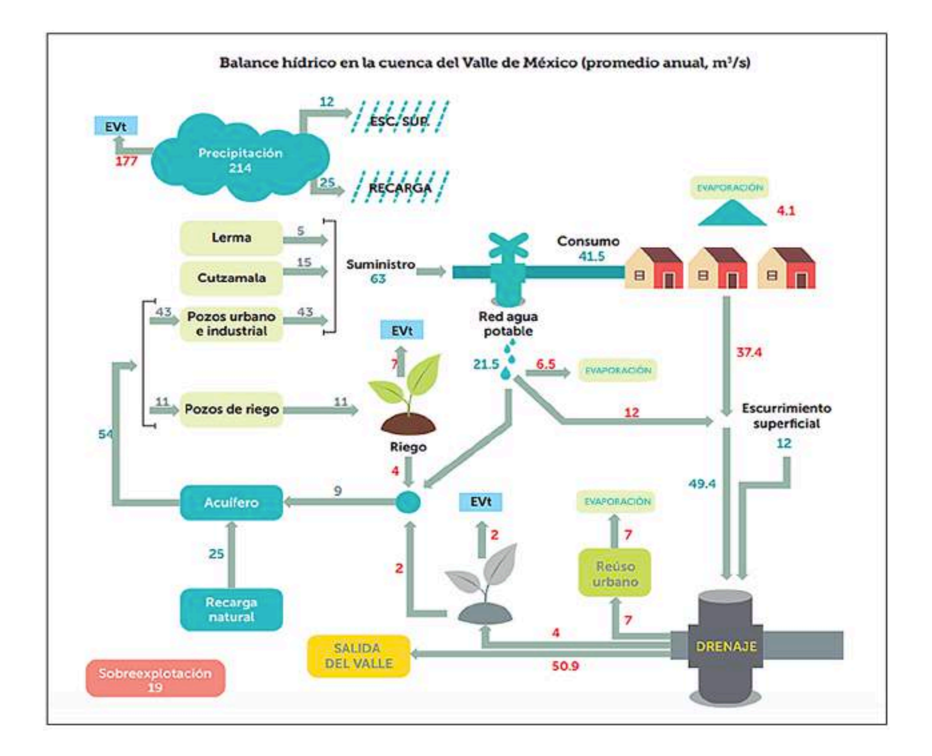


Figura 46. Balance hídrico en la cuenca del Valle de México.
Fuente: Antonio Capella, comunicación personal. Cutzamala: Diagnóstico Integral (Conagua; World Bank Group).

Un dato que difiere del anterior sobre el abastecimiento de agua potable de la Región Hidrológico-Administrativa XIII es el de Conagua, donde se puntualiza:

- **Acuífero del Alto Lerma:** aporta 5 m^3/s al Valle de México.
- **Sistema Cutzamala:** contribuye con 15 m^3/s al Valle de México.
- **Pozos ubicados dentro del Valle de México:** aportan 43 m^3/s.

De acuerdo con estos datos, el Lerma y Cutzamala aportan un total de 20 m^3/s, mismos que representan 32% del total del consumo del Valle de México, el cual se estima en 63 m^3/s. Los acuíferos del Valle de México, ubicados en la ZMCDMX, Texcoco, Cuautitlán-Pachuca y Chalco-Amecameca, además de otros sistemas entre los que se encuentran Barrientos, Chiconautla, la Caldera, así como los manantiales dentro de la zona metropolitana, aportan 43 m^3/s, equivalente a 68% del total señalado.



Figura 47. Croquis del Sistema Cutzamala.

Sistema Lerma

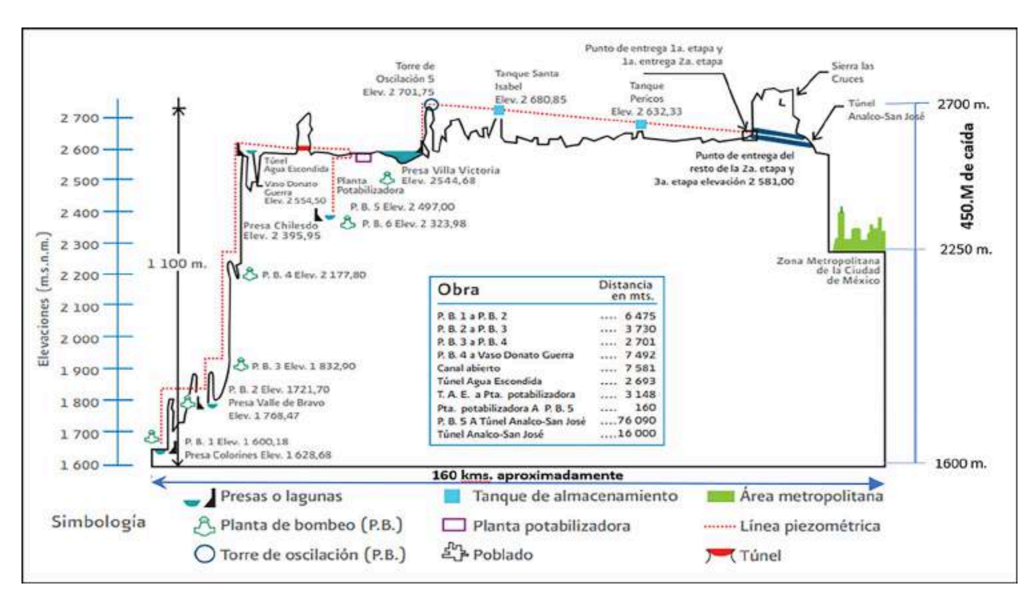
En la década de 1940 y a partir del aumento en la demanda de agua en el Valle de México, para evitar la sobreexplotación de los acuíferos, se decidió construir el Sistema Lerma, mismo que se inauguró en 1951 con una entrega inicial de 4 m^3/s. Este sistema llevaría aguas subterráneas del Alto Lerma por el túnel Atarasquillo-Dos Ríos.

La extracción de agua del Lerma llegó a su máximo en 1974 (14 m^3/s), pero el volumen fue disminuyendo a partir de 1978; actualmente se estima en tan sólo 5 m^3/s. Con el fin de aligerar la presión sobre el Sistema Lerma se decidió construir un segundo sistema para abastecer de agua potable a la urbe, y se aprovechó el Sistema Miguel Alemán (conocido también como Ixtapantongo), cuyo propósito original era el de generar energía hidroeléctrica para las ciudades de México y Toluca.

Sistema Cutzamala

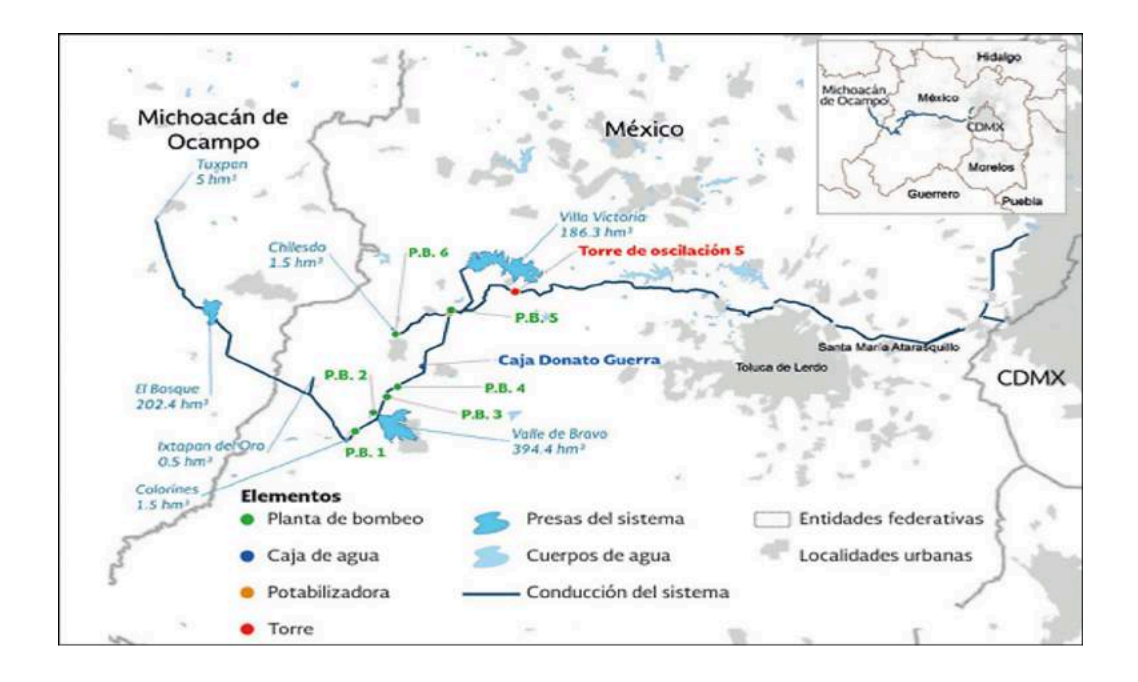
Este Sistema se desarrolla a lo largo de aproximadamente 160 kilómetros de ductos y 80 kilómetros de canales. Su finalidad es subir el agua a más de 1,000 metros, pasando por seis plantas de bombeo, con una capacidad de más de 25,000 caballos de fuerza.

El proceso inicia con el "agua cruda", la cual pasa por procesos de desinfección mediante potabilización y aplicación de cloro en estado gaseoso, así como




a

Figura 48 a y b. Sistema Cutzamala.
Fuente: Cuadro y gráficas propios, con información de Conagua.



b

sulfatación de aluminio para eliminar la tierra o lodo. Todo ello mediante sedimentadores y filtros. Después, se continúa con el bombeo hasta llegar a los 2,581 m, y de esta manera el agua se entrega al túnel de Analco-San José para posteriormente descender a Ciudad de México, localizada a 2,250 metros sobre el nivel del mar.

En 1982 se dio inicio a las operaciones del sistema conocido como Cutzamala en lo que fue su primera etapa. El cuerpo de agua designado para suministrar de agua potable fue la presa Villa Victoria, la cual aportaba 4,000 litros por segundo (l/s), pasando por una planta potabilizadora (P.P.) llamada Los Berros, construida específicamente para servir a este sistema y cuya capacidad inicial empataba con el caudal suministrado por la presa Villa Victoria.

La segunda etapa, la cual inició en 1985, vio la anexión de la presa Valle de Bravo, agregando 6,000 l/s a lo aportado por la presa Villa Victoria. Por lo tanto, fue necesario incrementar la capacidad de tratamiento de la P.P. Los Berros hasta 12,000 l/s. Para llevar tanta agua a la Zona Metropolitana del Valle de México se construyó el túnel Analco-San José, de 16 km de longitud, y a la salida del mismo el sistema de distribución se bifurca en dos ramales: ramal Norte-Macrocircuito y ramal Sur-Acuaférico. Este último es operado por la dependencia encargada del agua potable en la Ciudad de México, Sacmex, mientras que el Macrocircuito abastece de agua a los municipios conurbados del Estado de México y es operado por Conagua en su mayoría (un pequeño tramo es operado por la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM). Además, el túnel Analco-San José tiene una capacidad de hasta 34,000 l/s, y para éste se prevé la construcción de un sistema obras hidráulicas. Al sistema Cutzamala se le da mantenimiento dos veces al año para evitar fugas.

Finalmente, la tercera etapa del sistema Cutzamala inició operaciones en enero de 1993, anexando la presa Chilesdo y el subsistema Colorines, el cual está compuesto por las presas Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro, que vierten sus aguas en el vaso regulador Colorines. La aportación combinada del subsistema Colorines y la presa Chilesdo es de 9,000 l/s, de los cuales 8,000 pertenecen al

SISTEMA CUTZAMALA: VOLUMENES APORTADOS POR AÑO				
AÑO	CDMX	EDOMEX	TOTAL	TOTAL
	VOL. HM³ AL AÑO	VOL. HM³ AL AÑO	VOL. HM³ AL AÑO	VOL. M³ POR S.
1991	238.92	78.11	317.03	10.05
1992	224.89	89.66	314.55	9.97
1993	251.59	90.44	342.03	10.85
1994	304.34	106.31	410.65	13.02
1995	309.12	121.39	430.51	13.65
1996	305.63	145.66	451.29	14.31
1997	320.71	159.45	480.16	15.23
1998	313.07	141.64	472.52	14.98
1999	319.30	159.45	478.75	15.18
2000	306.70	176.60	483.30	15.33
2001	303.10	173.40	476.50	15.11
2002	303.70	176.00	479.70	15.21
2003	310.70	185.20	495.90	15.72
2004	310.70	177.70	488.40	15.49
2005	310.40	182.80	493.20	15.64
2006	303.50	177.30	480.80	15.25
2007	303.90	174.60	478.50	15.17
2008	306.30	179.50	485.80	15.40
2009	244.60	155.40	400.00	12.68
2010	266.90	165.80	432.70	13.72
2011	296.50	182.20	478.70	15.18

Figura 49. Cuadro y gráficos propios, con información de Conagua. Cuenca Aguas del Valle de México.

subsistema Colorines. Si bien la presa Chilesdo aporta normalmente 1,000 l/s, en temporada intensa de lluvias, puede llegar hasta los 5,000 l/s.

Como puede observarse en la figura 49, los volúmenes de abasto de agua del sistema Cutzamala han tenido un comportamiento estable durante un largo tiempo, es decir la aportación al Valle de México se ha mantenido alrededor de los 15 m^3 por segundo.

En la figura 53 se presentan las características de los diferentes componentes con que cuenta este sistema relativos a presas de almacenamiento, presas derivadoras, plantas de bombeo y la planta potabilizadora.

El almacenamiento de las tres presas que componen el sistema Cutzamala se mide diariamente. La figura 51 muestra las mediciones dicho sistema reportadas por Conagua al día 14 de marzo del año 2020.

a

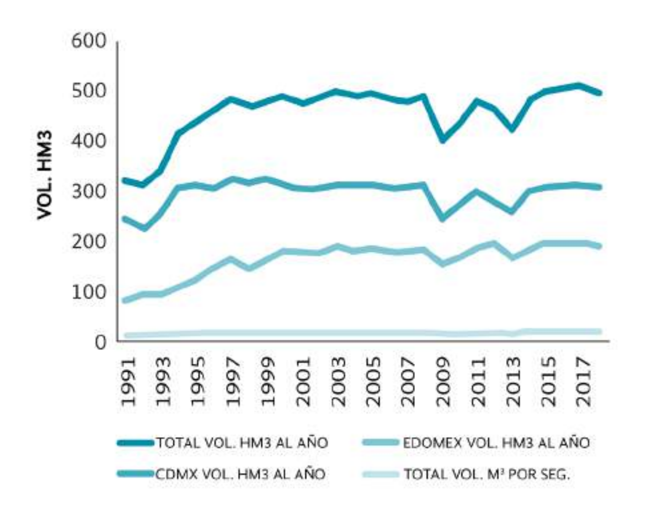
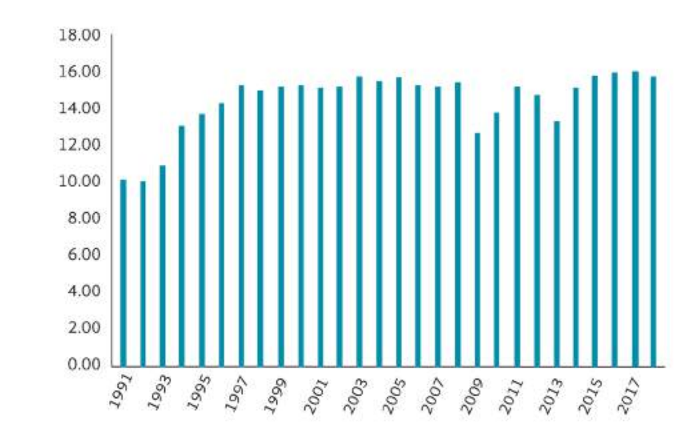


Figura 50 a y b. Mediciones de almacenamiento, Sistema Cutzamala. 2020.

b



Considerando las cifras de la figura 51, se estima para estas tres presas, un total aproximado de 782.6 millones de metros cúbicos.

Como conclusión puede afirmarse que actualmente los sistemas de Lerma y Cutzamala aportan un flujo de 20,000 l/s a la ZMVM.

Sin embargo, la situación respectiva de los acuíferos que pertenecen a la Región Hidrológico Administrativa (RHA) XIII es diferente, pues en el Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, aún se encuentran abundantes cantidades de agua, las cuales se considera aprovechar para abastecer a Ciudad de México y reducir la carga que sufre su acuífero principal (Conagua, 2018). De acuerdo con un estudio de factibilidad realizado en el año 2009 se determinó que es posible extraer 7 m^3/s sin sobrepasar la capacidad de recarga del acuífero. También se ha contemplado, a partir de diferentes estudios, importar agua de las cuencas Tecolutla (en Veracruz y Puebla) o Amacuzac (ubicada en su mayoría en Morelos y Guerrero), así como nuevas fuentes de la cuenca Cutzamala. Sin embargo, la más viable por el momento sigue siendo la del Valle del Mezquital (río Tula). De acuerdo con Sacmex, hace falta actualizar estos estudios "[...] para determinar su factibilidad técnica, económica y social, de tal manera que se asegure el abasto en el mediano y largo plazo en cantidad y calidad suficientes" (Sacmex, 2012).

Como se puede observar, el acuífero del Valle del Mezquital cuenta con abundante disponibilidad de agua (30.86 hm^3).

ALMACENAMIENTO M^3 MARZO 14 DE 2020										
VILLA VICTORIA			VALLE DE BRAVO			EL BOSQUE			TRES PRESAS	
ALMAC.	%	Lluvia mm	ALMAC	%	Lluvia mm	ALMAC	%	Lluvia mm	ALMAC	%
126,879	68.3	0	352,803	89.46	2.6	116,948	57.8	4.6	596,630	76.24

Figura 51. Mediciones de almacenamiento, Sistema Cutzamala. 2020.

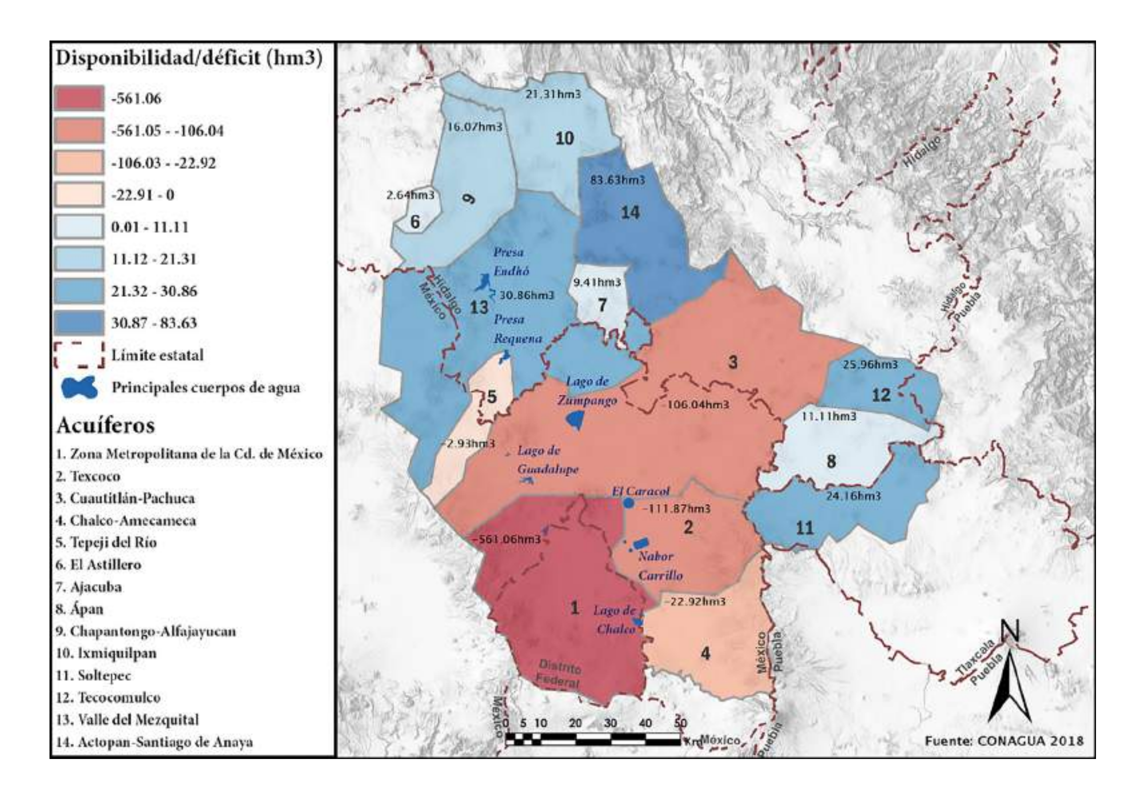


Figura 52. Disponibilidad de agua en los acuíferos del valle de México 2018.
Fuente: Fernando Greene Castillo con base en datos de Conagua. 2018.

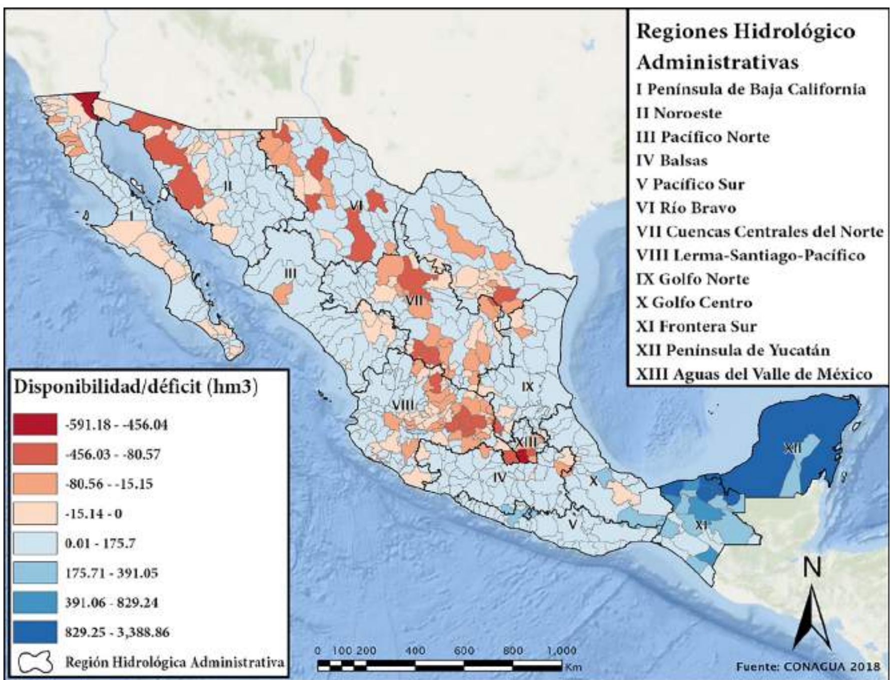


Figura 53. Disponibilidad/Déficit de los acuíferos en México en el año 2014.
Fuente: Fernando Greene Castillo con base en datos de Conagua. 2018 .

CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES DEL SISTEMA CUTZAMALA. 2018				
Elemento	Tipo	Cap. Mill.m^3	Elevación (MSNM*)	Observaciones
Tuxpan	Presa derivadora	5	1,762.00	Altura al NAME*
El Bosque	Presa Almacenamiento	202.4	1,741.40	Altura NAMO**
Ixtapan del Oro	Presa derivadora	0.5	1,635.00	Altura al NAME
Colorines	Presa derivadora	1.5	1,629.40	Altura NAMO
Valle de Bravo	Presa almacenamiento	394.4	1,830.00	Altura del vertedor
Villa Victoria	Presa almacenamiento	185.7	2,605.50	Altura del vertedor
Chilesdo	Presa derivadora	1.5	2,359.00	Altura al NAME
Planta bombeo 1	Bombas	20	1,571.30	Elevación eje de descarga
Planta bombeo 2	Bombas	24ww	1,723.00	Elev. Eje descarga opera en servicio
Planta bombeo 3	Bombas	24	1,834.00	Elev. Eje descarga opera en servicio
Planta bombeo 4	Bombas	24	2,177.80	Elev. Eje descarga opera en servicio
Planta bombeo 5	Bombas	29.1	2,497.00	Elevación eje de descarga
Planta bombeo 6	Bombas	5.1	2,323.10	Elevación eje de descarga
Pta. pot. Los Berros	Planta potabilizadora	20	2,540.00	

Figura 54. Tabla de Características de componentes del Sistema Cutzamala. 2018.

Sistemas Lerma y Cutzamala

Debido a la creciente necesidad de agua potable, así como para evitar la sobre-explotación de los acuíferos del Valle de México (Conagua,2005), en la década de 1940 se decidió buscar fuentes alternativas del vital líquido. Por tanto, se puso en marcha la construcción del sistema Lerma, el cual se inauguró en 1951 con un caudal de $4m^3/s$ que llevaba agua de las aguas subterráneas del Alto Lerma al Valle de México por el túnel Atarasquillo-Dos Ríos. La extración de agua de Lerma llegó a su máximo en 1974 ($14m^3/s$), pero el volúmen fue disminuyendo a partir de 1978. Con el fin de aligerar la presión sobre el sistema Lerma, se optó por construir un segundo sistema para abastecer de agua potable a la urbe, y se aprovechó el sistema Miguel Alemán (conocido también como Ixtapantongo), cuyo próposito original era generar energía hidroeléctrica para las ciudades de México y Toluca (Banco Mundial, 2015).

El caudal total aportado por el sistema Cutzamala es de 19,000 l/s por lo que la P.P. Los Berros necesita ampliar capacidad de 20,000 l/s en esta tercera etapa (Conagua, 2005).

DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Red primaria de drenaje y drenaje profundo

Una vez que hemos hablado sobre cómo se abastece de agua potable la Zona Metropolitana del Valle de México, pasamos ahora al tema de las aguas residuales y al asunto en torno a qué se hace con dichas aguas. El drenaje profundo ha traído muchos beneficios para el desalojo de aguas residuales, pues no le han afectado los hundimientos (que ya para la mitad del siglo XX comenzaron a ser evidentes), ha resistido los sismos y ha aprovechado la pendiente de la ciudad para expulsar el agua por efecto de gravedad, saneando así al mismo.

En la década de 1950 se presentó el plan de construir e implementar un sistema de drenaje profundo, ya que las inundaciones continuaban afectando a la ciudad, a pesar de las obras que ya se habían realizado.

La red de drenaje se divide en la red primaria y la red secundaria. Esta última se encarga de recolectar las descargas domiciliarias y de las coladeras que hay en las calles (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulicas (DGCOH), Plan Maestro de Drenaje 1994-2010), llevándolas hasta la red primaria por donde viajan a lo largo de los emisores y del Gran Canal hasta su destino final, el Valle del Mezquital (en su mayoría).

Debido a la escala que comprende este trabajo, se hablará únicamente de la red primaria y de sus emisores (del Gran Canal se habló con anterioridad, pero se hará un breve repaso), así como del tratamiento que recibe y de los usos posteriores a dicho tratamiento.

El sistema de drenaje de Ciudad de México conduce 50.9 m^3/s fuera del Valle de México a la cuenca del río Pánuco, mismos que equivalen a 81% del suministro total de agua a la misma.

La red primaria de drenaje de Ciudad de México, compuesta de colectores e interceptores, comenzó su construcción en 1956. Los primeros están orientados de poniente a oriente, siguiendo la pendiente natural del terreno, mientras que los segundos se encuentran dirigidos de sur a norte, construidos a un nivel más profundo que los colectores para recibir la carga de estos últimos (DGCOH, Plan Maestro de Drenaje 1994-2010). Después, los interceptores llevan las aguas residuales al Gran Canal de desagüe y a los diferentes emisores.

Como una de las primeras obras del drenaje profundo, el interceptor poniente consta de diferentes túneles y un cauce que conecta el río Hondo con el vaso de Cristo en el poniente de la ciudad. Este sistema evita que las aguas de esta zona escurran hacia la parte baja, alimentado de forma natural al antiguo lago de Texcoco, que hoy forma parte de la ciudad.

La ZMVM cuenta con cuatro salidas que expulsan el agua, gris y negra, al Valle del Mezquital. Estas salidas corresponden al emisor central que llega a las instalaciones de la planta de tratamiento de Atotonilco. El Gran Canal del Desagüe a cielo abierto no forma parte del drenaje profundo, pero es sumamente relevante para el sistema ya que, en temporada de lluvias, el emisor central se ve obligado a desviar su caudal a dicho canal con el objeto de evitar fuertes inundaciones. Éste se conecta con los túneles de Tequixquiac cerca del lago de Zumpango, para así desembocar en el río Salado que se une con el río Tula unos kilómetros al norte por el lado de Tezontepec de Aldama. En tercer lugar, se tiene el emisor poniente, y por último el emisor oriente que se planeaba concluir en 2019.

Cabe mencionar que la capacidad de emisión del Gran Canal se ha visto reducida en gran medida desde hace algunas décadas, en parte por falta de mantenimiento. Su capacidad pasó de 90 m^3/s a principios del siglo XX a tan sólo 15 m^3/s en años recientes. Hay que señalar que las fugas en esta red primaria de drenaje alcanzan entre 35 y 40% del total de la disponibilidad del recurso.

Drenajes profundos

Como en otro apartado se señaló, las aguas negras de la ZMCM son desalojadas fuera del Valle de México por los túneles de Tequixquiac a donde termina el Gran Canal, que es el gran recolector de las mismas. Este Gran Canal se alimenta

de los ríos Los Remedios y Tlalnepantla, los canales de Chalco y Nacional, así como también por cauces entubados de ríos como el Churubusco, La Piedad y Consulado.

Sistema de Drenaje Profundo

El Sistema de Drenaje Profundo fue originalmente diseñado para el desalojo de aguas de lluvia de la ZMCM. Funciona por gravedad y está formado por 153 km de túneles de un diámetro que va desde los 3.1 hasta los 6.5 m, con una profundidad que varía de 15 a 200 metros.

Emisor Central

Por su parte, el Emisor Central es la columna vertebral del Sistema de Drenaje Profundo, y junto con el Tajo de Nochistongo, el Emisor Poniente y el río Cuautitlán desalojan parte de las aguas de la ZMCM. Una parte de las aguas residuales de la ZMCM son enviadas a plantas de tratamiento, principalmente a la de Atotonilco, con una capacidad máxima de 35 m^3/s, de los cuales actualmente trata un promedio de 23 m^3/s y que es reusada en diferentes actividades que no requieren de la calidad de un agua potable.

La capacidad del Emisor Central es de 340 m^3/s, misma que por falta de mantenimiento disminuyó a menos 190 m^3/s hace algunos años. Empero, la capacidad original casi se ha restituido gracias a los trabajos de mantenimiento que se realizaron en este emisor en los últimos años. Cabe mencionar que persiste el riesgo de inundaciones por el incremento de descargas de los municipios conurbados del oriente del Estado de México al Sistema General de Desagüe del Valle de México, en tanto éste no se concluya.

El Emisor Central fue la primera obra de drenaje profundo dentro de la ciudad de México. En 1954, después de problemas relacionados con las constantes inundaciones, se planteó la posibilidad de construir un drenaje profundo que permitiera la expulsión de aguas negras al valle del Mezquital. Para 1975, dicha obra ya operaba con una longitud total de 153.3km, y con nueve receptores que se conectan con el Emisor. Los interceptores tienen en promedio 16.07 km de longitud y una capacidad promedio de 52.78 m^3/s. La figura 53 destaca una tabla que resume las características del sistema.

En la primera etapa del drenaje se terminaron las obras para los interceptores Oriente y Central en 1975, el primero con una longitud de 10 km y el segundo de 8 km. Ambos se unen al Emisor Central (Legorreta, 2006).

En cada periodo sexenal se fue modificando este proyecto, y en la actualidad se compone de diversos emisores que en su totalidad abarcan, como ya se mencionó, alrededor de 153 km de longitud, sin contar el Emisor Poniente y el túnel Emisor Oriente.

Estas obras fueron propuestas debido a que la ciudad comenzaba a tener problemas de hundimientos que afectaban la caída natural del desagüe del Gran Canal. Estas obras permitirían seguir expulsando el agua hacia el Valle del

Conducto	Longitud km	Diámetro m	Capacidad m^3/s	Profundidad (min-max) m
Emisor Central	50.0	6.5	220	48-217
Interceptor Central	16.1	5.0	90	22-41
Interceptor Centro-Centro	3.7	5.0	90	25-26
Interceptor Oriente	22.2	5.0	85	37-55
Interceptor Centro-Oriente	16.0	4.0	40	22-51
Interceptor del Poniente	16.5	4.0	25	20-40
Interceptor Iztapalapa	5.5	3.1	20	11-16
Interceptor Obrero-Mundial	0.8	3.2	20	10-16
Interceptor Oriente Sur	13.8	5.0	85	20-23

Figura 55. Características del Sistema de Drenaje Profundo. Fuente: DGCOH. Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de Valle de México 1994-2010.




Figura 56. Sistema de Drenaje Profundo.
Fuente: Conagua.

Mezquital a pesar del constante cambio en la pendiente. Así, la idea fue presentada al entonces presidente López Mateos y aprobada en 1966 por el presidente Díaz Ordaz. Sin embargo, no fue sino hasta la administración de Luis Echeverría que se concluirían las obras.

El drenaje tiene como objetivo expulsar hacia el Valle del Mezquital el agua que llega a la Ciudad. De toda el agua que envía, sólo 20% de ella es agua negra y el 80% restante es agua de lluvia. En temporada de fuertes precipitaciones, el sistema se ve saturado por la cantidad de agua que se registra. Ya para 1997 las obras dejaron de hacerse, y aunque en el 2006 se retomaron de nuevo, este proyecto, de enorme importancia para el desalojo de agua de la ciudad, no se ha concluido.

Túnel Emisor Oriente

Actualmente se está concluyendo la obra del Túnel Emisor Oriente, mismo que contará con 24 lumnbreras a profundidades que varían entre 26 y 150 metros. Este túnel permitirá tener una salida alterna al Emisor Central.

El Túnel Emisor Oriente tiene una longitud de 62 km, 7 m de diámetro y una capacidad de desalojo de hasta 150 m^3/s. de aguas residuales. Este túnel inicia en el río de los Remedios y terminará en Atotonilco de Tula, en el estado de Hidalgo, conduciendo sus aguas a la planta de tratamiento que se ubica en Atotonilco.

El trabajo realizado con relación al mejoramiento en el bombeo de los canales y ríos a cielo abierto, así como con la reparación del drenaje profundo en la primera década del siglo XXI, ha disminuido el riesgo de inundaciones en la ciudad, y este riesgo disminuirá aún más cuando se concluya la construcción del Emisor Oriente.





Figura 57. Sistema de Drenaje Profundo
Fuente: Conagua.

Tratamiento de aguas residuales

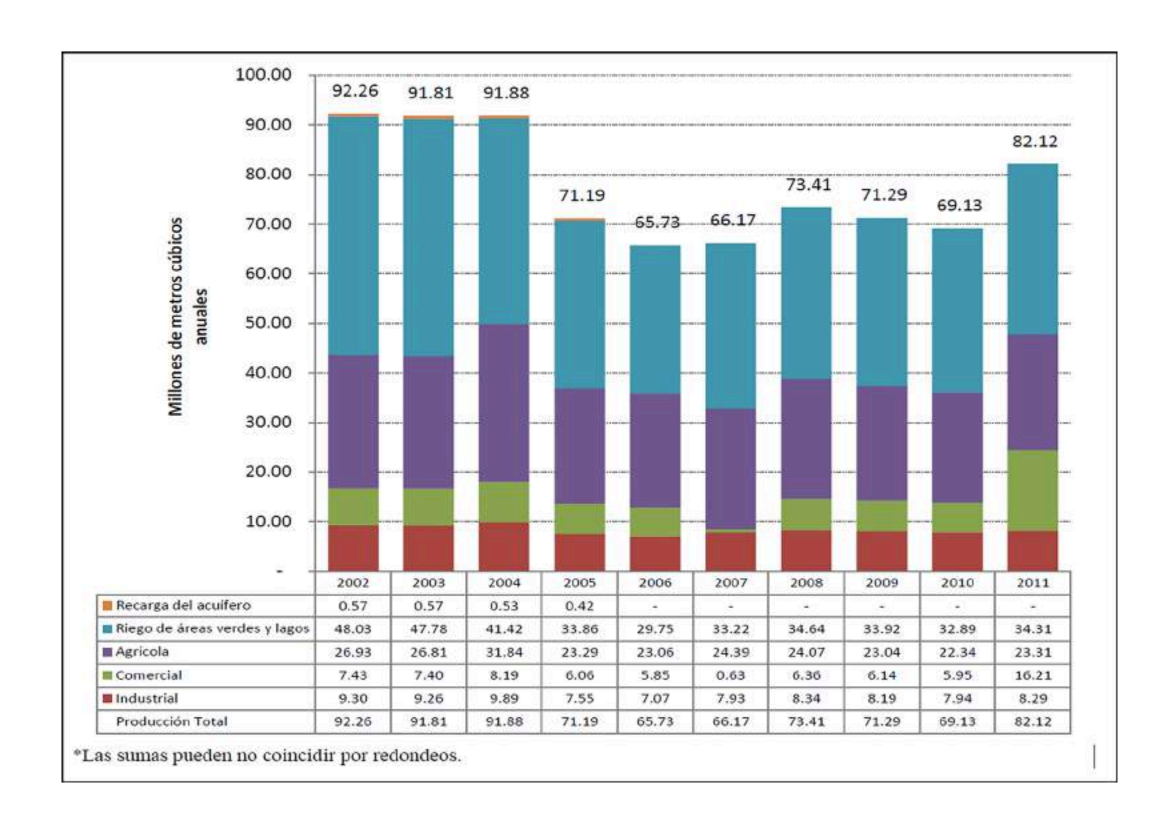
Si bien se ha conseguido mejorar la capacidad del sistema de drenaje para desalojar el agua de lluvia y evitar así inundaciones como las que azotaban la ciudad en siglos anteriores, no termina ahí la problemática. También se debe dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales en las cuales lamentablemente se incluye el agua de lluvia, pues al ser el drenaje de Ciudad de México un sistema que combina las aguas negras con las de lluvia, esta última pasa a formar parte de las primeras. Entonces, ya sea que se le vaya a dar algún otro uso a las aguas residuales o que se arrojen en algún afluente o cuerpo de agua, es necesario que pasen por un proceso que elimine la mayor cantidad posible de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos.

Plantas de tratamiento de la ZMVM

Podría decirse que en el entorno de la ZMCM las aguas negras no se procesan, ni se potabilizan ni se recuperan. Existen contados casos en la industria, así como en algunos usos urbanos, donde sí se lleva a cabo un reúso de este vital líquido. Lo anterior se demuestra al considerar que sólo se tratan 2.6 m^3/s diarios en esta

área, es decir 3.7% del total del abasto. Se tienen algunas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS) de diferentes capacidades, tanto públicas como privadas. Muchas de ellas, como ya se señaló, destinan el agua tratada para uso industrial (principalmente las PTARS privadas) o para riego de áreas verdes.

En la figura 56 se puede ver cómo se distribuyó el uso de las aguas tratadas de la ciudad de México entre los años 2002 y 2011 (Sacmex, 2012), la mayor parte de la cual se destinó al riego de áreas verdes y al uso agrícola.



	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Recarga del acuífero	0.57	0.57	0.53	0.42	-	-	-	-	-	-
Riego de áreas verdes y lagos	48.03	47.78	41.42	33.86	29.75	33.22	34.64	33.92	32.89	34.31
Agricola	26.93	26.81	31.84	23.29	23.06	24.39	24.07	23.04	22.34	23.31
Comercial	7.43	7.40	8.19	6.06	5.85	0.63	6.36	6.14	5.95	16.21
Industrial	9.30	9.26	9.89	7.55	7.07	7.93	8.34	8.19	7.94	8.29
Producción Total	92.26	91.81	91.88	71.19	65.73	66.17	73.41	71.29	69.13	82.12

*Las sumas pueden no coincidir por redondeos.

Figura 58. Distribución del agua residual por tipo de uso, 2002-2011.

Planta de tratamiento de aguas residuales El Caracol

El predio donde se planeó la planta de tratamiento de agua residual El Caracol, que finalmente no fue construida, fue evaluado y seleccionado desde 1996, durante la administración del presidente Ernesto Zedillo, para alojar la planta de tratamiento de la ZMVM, entonces denominada Texcoco Norte.

La encargada del proyecto sería la Comisión Nacional del Agua, a través de la Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México, así como de la Gerencia de Agua y Saneamiento.

El consorcio ganador del concurso para realizar la obra estaba conformado por Promotora del Desarrollo de América Latina, S.A. de C.V., Acciona Agua, S.A.U., Carso Infraestructura y Construcción, S.A de C.V. y operadora Cicsa, S.A. de C.V.

Los criterios que se emplearon para la localización del proyecto fueron:

- Disponibilidad y flexibilidad en el suministro de aguas residuales crudas por el cruce del Gran Canal y del túnel Emisor Oriente.
- Propiedad del terreno (federal).
- Cercanía al sitio de entrega de los lodos generadores en el tratamiento.
- Extensión suficiente para las instalaciones.
- Disponibilidad.
- Menor impacto al ser una zona sin utilizar.
- Cercanía con las carreteras.

El predio donde se planeó la PTAR El Caracol colinda al norte con los municipios de Coacalco de Berriozábal, Tecámac y Tultitlán; al sur con los municipios Nezahualcóyotl y Texcoco; al este con Acolman y Atenco; al oeste con Tlalnepantla (todos estos ubicados en el Estado de México) y Gustavo A. Madero, que pertenece a la Zona Metropolitana del Valle de México.

La planta captaría 4 m^3/s de aguas residuales del Gran Canal y del túnel Emisor Oriente, y para el tratamiento de aguas residuales cuenta con dos módulos:

- Tratamiento secundario: para riego y restauración de suelos (1 m^3/s), para el Parque Ecológico del Lago de Texcoco (1 m^3/s), y para reúso comercial, industrial y municipal (1 m^3/s).
- Tratamiento avanzado: para inyección y recarga de acuíferos (1 m^3/s).

En cuanto a la demanda derivada que puede ser satisfecha encontramos lo siguiente:

- Usos industriales, municipales y recreativos.
- Riego agrícola de municipios de Atenco y Texcoco.
- Riego en zonas de mitigación ambiental de Plan Ecológico Lago de Texcoco.
- Recarga directa al acuífero.

La primera etapa de la PTAR El Caracol se ubicaría en una porción de 20.6 ha del predio conocido como La Oreja, el cual tiene una superficie total de 53 ha, y consiste en la construcción de una planta de tratamiento con capacidad de 2 m^3/s, para su aprovechamiento en riego agrícola, principalmente en los municipios de Atenco y Texcoco.

En la segunda etapa se implementaría un sistema de tratamiento avanzado, con capacidad inicial de 2 m^3/s, con la posibilidad de crecer a fin de efectuar la recarga directa del acuífero.

De acuerdo con el programa de trabajo, la vida útil de la planta sería de 25 años, sin embargo, con el debido mantenimiento, las obras realizadas pueden alargar significativamente su tiempo de vida útil.

Originalmente se planeó una inversión de obra de 2,622 millones de pesos, los cuales se distribuirían de la siguiente manera:

- 80 millones para las obras de la toma y planta de bombeo.
- 100 millones para la conducción de agua cruda y tratada.
- 1,942 millones para planta de tratamiento de aguas.

- 300 millones para riegos tecnificados.
- 200 millones sistema de recarga de acuíferos.

El gobierno federal planeó el financiamiento de 40% del costo a través del Fondo Nacional de Infraestructura (2013) y el resto con inversión privada y créditos contratados por el licitante ganador. Las empresas señaladas anteriormente serían las encargadas de la elaboración del proyecto ejecutivo, la construcción, el equipamiento y las pruebas de la planta, así como del tratamiento de aguas residuales del Valle de México. La concesión para la operación y el mantenimiento de la infraestructura se darían por un plazo de 23 años.

Por último, la comercialización del agua de reúso industrial se planificó en 31 millones de m^3/años, a razón de 11.10 $/$m^3$, con lo cual se pagaría el costo total. Con apoyo de Fonadin el precio de venta se reduciría a 7.25 $/$m^3$.

Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco

El agua tratada en la planta de Atotonilco no es apta para consumo humano, pero sirve para la agricultura y la industria, lo que permite por otra parte ahorrar agua potable para su aprovechamiento en usos urbanos.

En el año 2007, como parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México (Conagua, 2012), se presentó el proyecto de construcción de la PTAR Atotonilco (con la intención de construir otras cinco plantas más), para dar tratamiento a una gran parte de las aguas residuales provenientes de la ciudad de México. Dicha PTAR se encuentra ubicada a orillas de la presa Requena, en el municipio de Atotonilco del estado de Hidalgo, y da tratamiento a las aguas provenientes del Emisor Central, del río El Salto (a donde descarga una parte de sus aguas el Emisor Poniente), y en un futuro las aguas del Emisor Oriente, el cual se encuentra en las últimas etapas de su construcción (Flores, 2019). La edificación de esta PTAR comenzó el 26 de julio de 2010 e inició operaciones en el año 2016 (Banobras-SHCP, 2018).

La capacidad promedio de esta planta es de 23,000 l/s, con la posibilidad de llegar hasta los 35,000 l/s en temporada de lluvias, lo que la convierte en la planta de tratamiento más grande de Latinoamérica y una de las más grandes del mundo. Trata más de 60% de las aguas residuales provenientes del Valle

de México, para beneficio de aproximadamente 300,000 habitantes del Valle del Mezquital (Bello, 2016), receptor de las aguas residuales desde la década de 1970 (*La Jornada*, 2014).

Esta PTAR se diseñó con sostenibilidad en mente, pues el gas metano que desprenden los desechos orgánicos es captado y aprovechado para generar energía eléctrica que se usa en la planta misma, además de que contribuye a la economía local al dar mayores oportunidades de cultivo, dado que en la agricultura del Valle del Mezquital se puede utilizar agua tratada, hecho que también ayuda a mejorar las condiciones medioambientales.

La planta de tratamiento forma parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México (PSHCVM), establecido por el gobierno federal para solucionar el manejo de las aguas en la zona más poblada del país (Semarnat, 2006).

Localizado en el municipio de Atotonilco, Hidalgo, el predio tiene una superficie de 158.5142 ha, y se ubica en una ladera de un cerro con desnivel de más de 60 metros de la cota más baja y la más alta. Lo cruzan el canal de aguas para riego El Salto-Tlamaco y la línea de ferrocarril México-Querétaro, también una línea de alta tensión de 230 kW y un camino (Conagua, 2017).

La PTAR de Atotonilco fue diseñada, construida y operada por el Consorcio Aguas Tratadas del Valle de México (ATVM), del que forma parte ACCIONA Agua (ACCIONA, 2018).

Con relación a los procesos, la PTAR Atotonilco permite depurar las aguas residuales de 12.6 millones de habitantes, equivalentes de Ciudad de México, que se reutilizan para riego agrícola, en su mayoría tecnificado. La planta cuenta con dos procesos:

- Proceso convencional: en donde se utiliza oxígeno para que las bacterias se reproduzcan y limpien el agua residual.
- Proceso químico: el cual requiere sustancias químicas para remover los contaminantes presentes en el agua residual (Semarnat, 2006).

El proyecto se desarrolló para contar con una capacidad de 35 m^3/s; 12 m^3/s para el tren de proceso químico y 23 m^3/s para el tren de proceso convencional.

El tren de proceso biológico consta de lo siguiente:

1. Rejillas: éstas atrapan los sólidos de gran tamaño;

2. Desarenadores: extraen las partículas que se depositan en el fondo de los tanques, como grava y arena;

3. Tanques de sedimentación: separan las partículas pesadas que se depositan en el fondo a medida que el agua ingresa;

4. Aireación: inyecta oxígeno al tanque para que bacterias y microorganismos transformen los contaminantes en compuestos inofensivos;

5. Desinfección: es la etapa cuando se utiliza cloro para eliminar los microorganismos, los cuales provocan las enfermedades.

Esta agua tratada se envía a los canales de riego, y el excedente se dirige a la presa Endhó. Cuando aumenta la cantidad de agua residual, que llega al Valle de Mezquital, opera el tren de proceso químico, el cual cuenta con los tres primeros elementos de manera similar al biológico. Sin embargo, después de la sedimentación, se añaden sustancias químicas al agua para acelerar el depósito del material orgánico en el fondo del tanque para después eliminarlo en forma de lodo, quedando el agua lista para la desinfección.

Cabe aclarar que los lodos también reciben un proceso de tratamiento para regresarlos sin peligro alguno al entorno:

1. Espesamiento: por eliminación de agua;

2.Digestores: grandes tanques en donde los microbios descomponen la materia orgánica, generándose dióxido de carbono y gas metano;

3. Deshidratación: es un proceso mecánico en donde se elimina el agua de los lodos para volverlos sólidos.

Los lodos resultantes se depositan en rellenos y con el paso de los años pierden lo que les resta de agua y pasan por un proceso de sedimentación (Semarnat, 2006).

Mediante el aprovechamiento del gas metano, resultante del tratamiento de los lodos, la planta Atotonilco produce 70% de la electricidad que consume, lo que le permite disminuir la dependencia de fuentes externas de energía, reduciendo de esta manera las emisiones de diversos contaminantes a la atmósfera (ACCIONA, 2018).

Con relación a consumo, un PTAR de 1,350 l/s consume 34,292.16 kW h. Si por efectos de la cogeneración se deja de consumir 60% de los requerimientos de la PTAR:

- Se liberan 20,573.3 kW h.
- Se puede abastecer 2,435 viviendas (con un consumo medios de 8.45 kW h por vivienda).

Calidad del agua y su relación con los niveles socioecónomicos de la población

En un estudio realizado por el autor en el año 1994, se encontró una distribución territorial de la población de acuerdo con sus ingresos de forma muy particular, notándose que las familias de ingresos altos y medios vivían mayoritariamente en el poniente y centro de la ciudad, en tanto que las familias de bajos ingresos ocupaban el oriente y norte, zonas en donde el acuífero se puede considerar de menor calidad que en el resto de otras zonas.

La información anterior se corroboró para el Distrito Federal en 2010, tal como se aprecia en el mapa de la figura 59.

El nitrógeno amoniacal es patente en zonas en donde se tienen descargas de aguas residuales, y sus mayores concentraciones se ubican en demarcaciones cerriles donde se carece del sistema de drenaje como Iztapalapa, Tláhuac y Gustavo A. Madero.

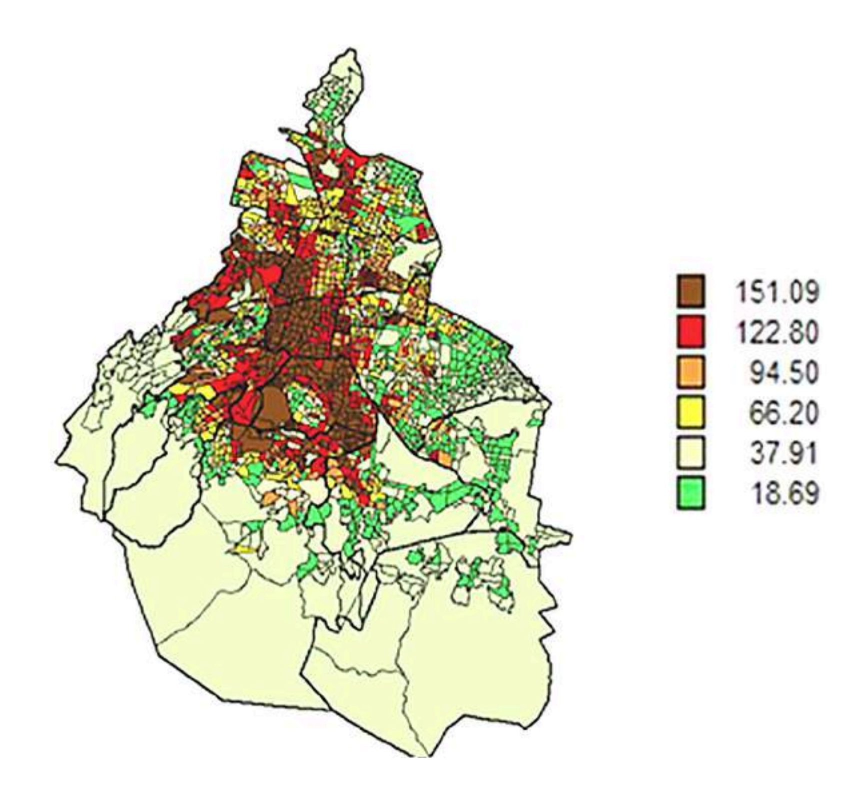


Figura 59. Ingreso per cápita por área geoestadística básica (AGEB) de Ciudad de México, 2010. Fuente: Fernando Greene Castillo.

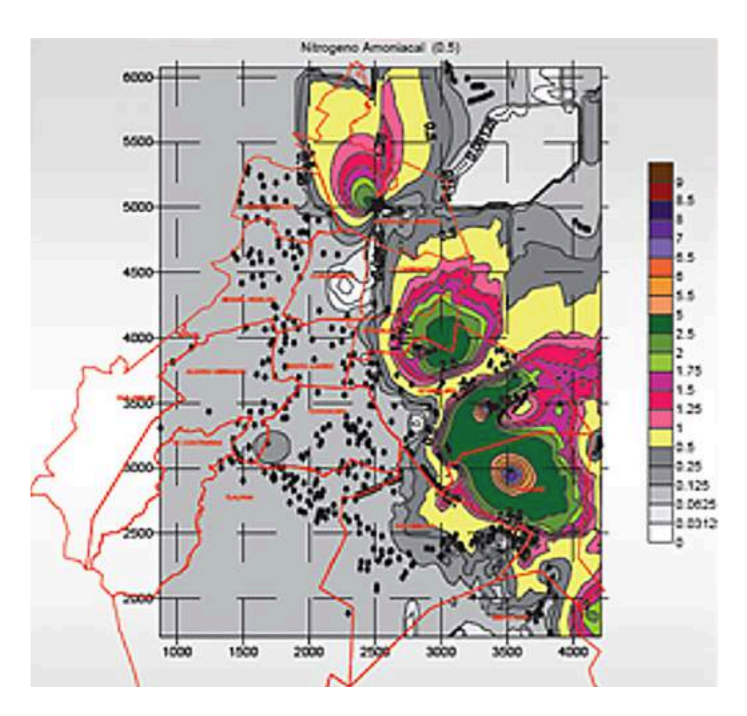


Figura 60. Nitrogeno amoniacal.
Fuente: Juan Carlos Guash Sanders "Evaluación de la Infraestrucura hidraúlica de la Ciudad de México", en Foro finanzas y administración del agua en el D.F., sept.2004.

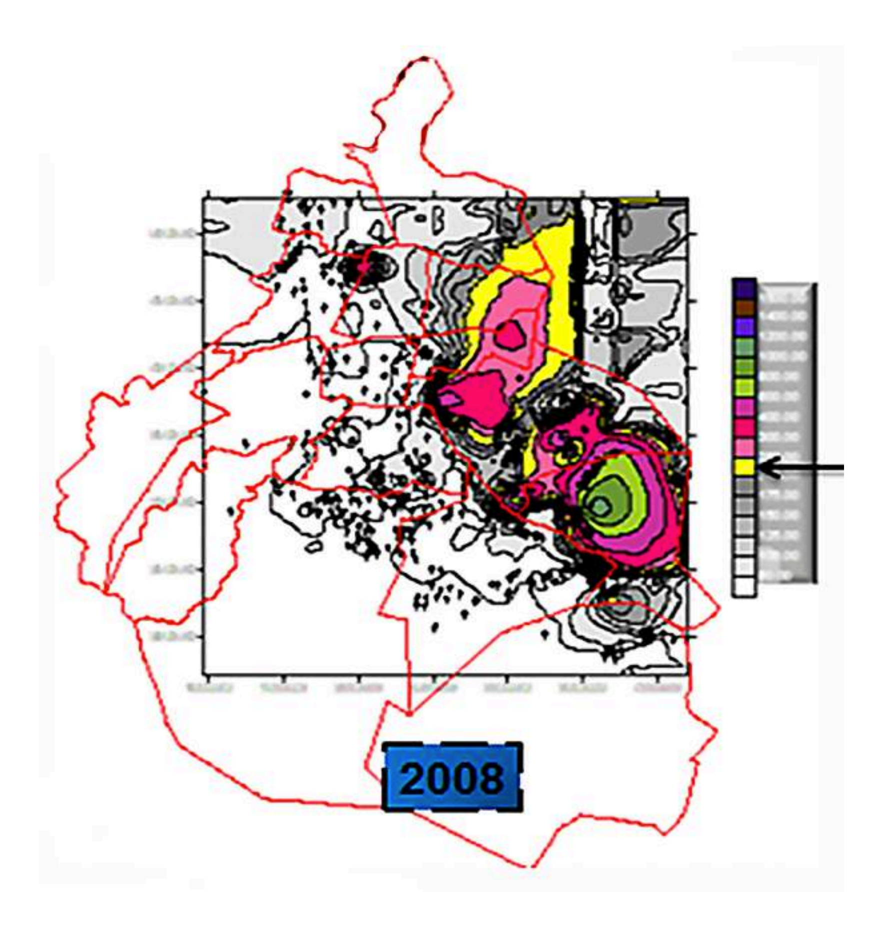


Figura 61. Concentración de sodio.
Fuente: Juan Carlos Guash Sanders, "Evaluación de la Infraestrucura hidraúlica de la Ciudad de México", en Foro finanzas administración del agua en el D.F., sept. 2004.

Las concentraciones de sodio más altas se presentan en donde los espesores de arcilla son mayores como las zonas de Iztapalapa, Tláhuac e Iztacalco, donde los flujos subterráneos son casi nulos.

PROPUESTAS PARA LA SOLUCIÓN HÍDRICA DE LA ZMVM

Pronóstico de población 2020-2050

Plantear una estrategia integral para la Zona Metropolitana del Valle de México, así como las correspondientes acciones requeridas con miras a resolver la demanda presente y futura de infraestructuras y servicios, entre ellas el de abastecimiento de agua potable, su desalojo, así como el tratamiento de aguas servidas, se requiere, en primer lugar, determinar la posible población futura que se tendrá que atender.

Este pronóstico lo realiza periódicamente el Conapo y es discutido de manera detallada por científicos sociales de diversas universidades y centros de investigación. Asimismo, junto con las autoridades de la CDMX y los estados de México e Hidalgo, se analiza la validez del mismo y se revisa detenidamente la distribución espacial de la futura población. Lo anterior dado que el Conapo realiza proyecciones futuras de población por municipios y delegaciones, lo cual de hecho determina un posible patrón territorial con relación a futuros poblamientos.

Lo anterior tiene implicaciones sociales, políticas y económicas de mucha importancia, por lo que me atrevo a decir que esta es la razón por la cual hasta ahora no se tiene un plan de desarrollo urbano-regional para toda la ZMVM. De hecho, en la planeación territorial compiten entre sí las autoridades de planeación urbana de cada municipio y delegación con sus propias autoridades en la materia, y con las planeaciones de la Sedatu y las autoridades encargadas del agua a nivel estatal y federal. Podría decirse que en muchos casos los planes municipales o delegacionales no voltean a ver siquiera a entidades colindantes, a excepción de que los casos atiendan a intereses de particulares que buscan que sus terrenos sean incluidos como urbanos, pues la diferencia de definición entre uso urbano o no urbano significa económicamente una enorme diferencia con relación al

precio de la tierra. Otro aspecto importante a considerar es que cualquier planificación requiere de un marco temporal y espacial de estudio, por lo cual propongo un análisis para los próximos treinta años y para toda la ZMVM.

De acuerdo con proyecciones del Conapo de 1920 a 1930, tenemos lo siguiente:

PRONÓSTICO DE POBLACIÓN ZMVM 2020	
2020	21.091
2021	21.233
2022	21.370
2023	21.503
2024	21.631
2025	21.776
2026	21.875
2027	21.990
2028	22.100
2029	22.205
2030	22.307

Figura 62. Pronóstico de población ZMVM 2020. Fuente: Estimaciones del Conapo con base en proyecciones de la población de los municipios de la ZMVM, 2020-2030, en millones de habitantes.

Claramente se puede apreciar que el Conapo realiza un pronóstico de población para la ZMVM considerando un modelo básicamente lineal. Esto se demuestra considerando el coeficiente de determinación que da como resultado una R^2 de .9973, es decir, una correlación casi perfecta.

Lo anterior nos lleva a calcular que la población de la ZMVM entre los años 2020 y 2030 aumentará en 1,216,000 habitantes (1.216), 5.76%.

Con estas cifras, y de continuarse la tendencia proyectada por el Conapo, podremos de manera gruesa estimar que para 2050 la ZMVM llegará a una población de 24,739,000 habitantes, es decir 3,648,000 habitantes adicionales con relación a los actuales.

Ahora bien, si tomamos en cuenta los resultados del análisis presentado anteriormente en el capítulo "Crecimiento urbano 1920-2020", donde se expusieron dos experimentos de regresión de 1960 al 2020, se presenta en el siguiente gráfico en color azul una función logarítmica que crece, pero que al mismo tiempo desacelera su crecimiento. Aunque en este caso se nota poco, la segunda función, presentada en rojo, corresponde a una función polinómica de segundo grado. Ambas funciones tienen una alta correlación si consideramos las R^2 estimadas y las trayectorias del diagnóstico.

Para el año 2050 la distancia entre estas dos funciones es de aproximadamente 9,000,000 de habitantes, razón por la cual el autor de este libro se queda con un pronóstico intermedio para el 2050 de 25,000,000 de habitantes para toda la ZMVM, cantidad que coincide con los pronósticos a partir de datos del Conapo y que consideran que alrededor del 2050 la población de la ZMVM ya habrá llegado al máximo. Como quiera que sea, el problema de por sí ya grave con relación al agua en la ZMVM se agravará mucho más con estos millones de población adicionales si no se toman de inmediato medidas importantes y a veces drásticas para controlar el crecimiento poblacional.

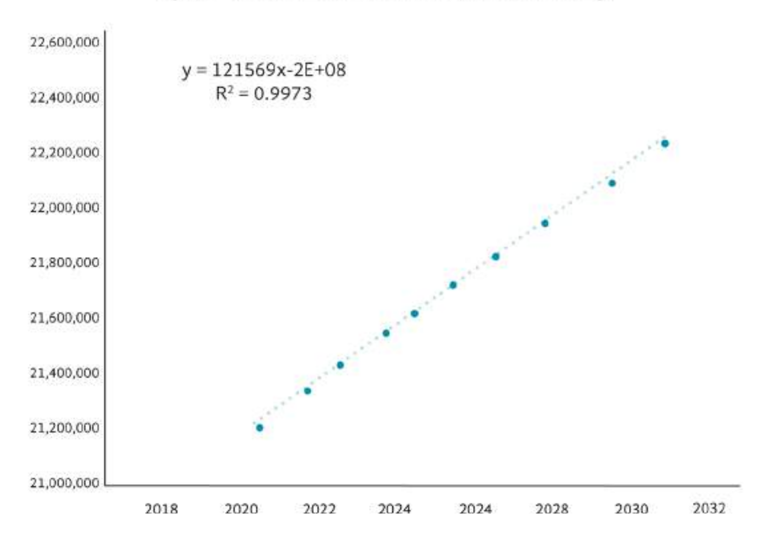


Figura 63. Fuente: Estimaciones del Conapo con base en proyecciones de la población de los municipios de la ZMVM, 2020-2030, en millones de habitantes.

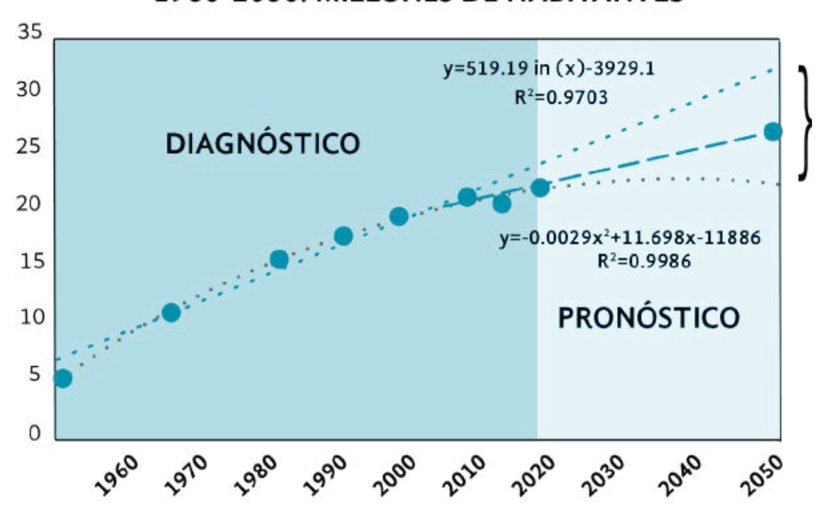


Figura 64. Pronóstico de población ZMVM, 1960-2050. Fuente: Fernando Greene Castillo.

Distribución territorial de la población actual y futura

Con el paso del tiempo el AMCM decrece con relación a la densidad de su población, de hecho, la densidad de 1970 que era de 237 hab/ha en la actualidad se estima en una cantidad aproximada de 135 hab/ha; se observa, por tanto, una reducción de 43% durante los últimos 50 años.

Esta realidad, de acuerdo con todas las teorías y principios de la planeación urbana y regional, conlleva a una mayor ineficiencia urbana, pues la dispersión-requiere de cada vez más recursos para dotar de equipamiento, infraestructura y servicios a la comunidad. Asimismo, se requiere aumentar la concentración, ya que para ser más eficientes y eficaces se requiere de un plan de desarrollo urbano para todo el Valle de México que procur e un único reglamento y un sistema de normas para todos los municipios y delegaciones que forman parte de la ZMVM.

Estrategías para el futuro propuestas por autoridades y expertos en el tema del agua

En este libro no se determinan las estrategias ni las correspondientes acciones requeridas para afrontar el problema del abasto y desalojo del agua en la ZMVM. Sin embargo, sí se presentan ideas que a lo largo del tiempo han sido propuestas por diversas autoridades e investigadores para afrontar dicha problemática en el futuro.

En 1995 se publicó el libro *Mexico City's Water Supply, Improving the Outlook for Sustainability*, escrito por varios notables investigadores de México y Estados Unidos de América, adscritos, en el caso de México, a la Academia Nacional de la Investigación Científica, A.C. y a la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., y en el caso de Estados Unidos de América a The Joint Academies Committee on the Mexico City Water Supply Water Science and Tech *nology Board Commission on Geosciences, Environment, and Resources National Research Council*.

A partir de este estudio se exponen posibles acciones para disminuir de manera importante la extracción de agua en el Valle de México y poder atender su futura demanda:

- Continuar con la entrega del Sistema Cutzamala que en 2018 era de 15.71 m^3/s;
- Continuar con la entrega del Sistema Lerma que actualmente es aproximadamente de 5.3 m^3/s.

Adicional a lo señalado en este libro, se considera como una probable opción a considerar para el futuro traer agua de las siguientes cuencas:

- 5 m^3/s de la cuenca del río Temascaltepec. Cabe mencionar que en 1997 se advirtió una oposición férrea de los campesinos de esa región a que esto sucediera;
- 14.2 m^3/s de la cuenca del río del Amacuzac;
- 7 m^3/s de la cuenca del río Libre Oriental;
- 14.7 m^3/s de la cuenca del río Tecolutla, proyecto para el cual se estima una inversión mayor a los 20,000 millones de pesos;
- 2.8 m^3/s de la cuenca del río Tula.

1. Otra opción considerada correspondería a la explotación de nuevas fuentes de la cuenca Cutzamala.

2. En un estudio de factibilidad realizado por Sacmex en el año 2009 se concluyó que se pueden extraer 7 m^3/s adicionales sin afectar la recarga del acuífero.

3. Otra propuesta considerada por Sacmex corresponde a traer agua del acuífero del Valle del Mezquital, el cual ha recibido aguas negras de la ZMCM desde 1950, aclarando que para lo anterior se requiere analizar más esta propuesta "[...] para determinar su factibilidad técnica, económica y social, de tal manera que se asegure el abasto en el mediano y largo plazo en cantidad y calidad suficientes". Lo anterior ya que se presume una oposición importante por parte de los campesinos que habitan dicho valle.

4. Traer agua de la presa Necaxa, inaugurada en 1905 y con una producción de energía eléctrica actual de 300 mW y con una capacidad total de almacenamiento de 31 millones m^3, pequeña en comparación con la del Valle de Bravo con 418 millones m^3, es decir más de 13 veces mayor. Esta opción tendría que ser negociada con el todavía existente Sindicato de Trabajadores Electricistas.

5. Traer agua de la presa Madín ubicada en Naucalpan, que se terminó en 1978 y ocupa 190 ha, con una capacidad total de almacenamiento de 10.5 millones de m^3 y que actualmente abastece 600 l/s. Su principal problema es que está contaminada y es bastante reducida, casi 40 veces más chica que la de Valle de Bravo.

6. Otra opción a considerar es continuar con la exploración y extracción de agua de los acuíferos profundos del Valle de México, localizados a una profundidad de entre 2,000 y 3,000 metros. Como ya se señaló, hasta hoy se han perforado de forma experimental cuatro pozos, dos de ellos aportan alrededor de 180 l/s (Pemex-Sacmex y Conagua). Y para estimar el posible tamaño de este acuífero profundo, continuar con este proyecto experimental mediante la perforación de otros 15 pozos adicionales. El costo para lo anterior se estima en más de 160 millones de pesos y un periodo de más de cinco años de trabajos.

7. Otra opción considerada por Sacmex es la captación de lluvia y el tratamiento de aguas residuales o jabonosas.

8. Cabe destacar como una acción prioritaria continuar y mejorar el programa que busca evitar fugas de agua, las cuales se estima que dan lugar a una pérdida de entre 35% y 40% del total de abasto de agua a la ZMVM.

9. También, como acción a corto plazo continuar con la construcción y conclusión del Acuaférico.

Estrategias para el futuro propuestas por el autor

Adicional al establecimiento de algunas de las acciones señaladas anteriormente, y las cuales deben ser planificadas, diseñadas e implementadas por ingenieros de varias disciplinas, auxiliados por profesionistas de otras tantas para coadyuvar a la solución de los inevitables problemas políticos, jurídicos y sociales que acciones de esta magnitud siempre producen, a continuación se añaden algunas ideas propias del autor en torno a dicha problemática:

1. Emprender a la brevedad posible, por parte de los gobiernos de la CDMX, el Estado de México y el estado de Hidalgo, un "Programa de concientización del uso del agua para toda la población que vive en la ZMVM". Esto último teniendo como instrumento, entre otros, la obligatoriedad de una asignatura en todos los niveles de educación, es decir, desde nivel preescolar hasta la educación superior, a partir de la cual se les enseñe a los niños, adolescentes y jóvenes adultos lo que puede suceder si no se cuida el agua. Asimismo, la enseñanza de métodos y técnicas para reducir el consumo de este vital líquido. Concientizar y enseñar a estos grupos de población todo lo relativo a esta problemática, cuya finalidad es detonar un efecto multiplicador casi de inmediato, y esto con relación al efecto que tendría en los demás miembros de las familias. A partir de lo anterior se estima que en unos pocos años se notarían efectos muy positivos en el ahorro per cápita por parte de los habitantes de la región. Si este programa fuera exitoso, y si se redujera el consumo per cápita en 30%, se estima que se lograría un ahorro aproximado de 13m^3/s, ello si consideramos que actualmente, quitando 35% de fugas, se calcula un gasto por habitante de 176 litros diarios.

2. Con relación a la agricultura del Valle de México, acabar con la entrega de agua que se extrae de sus acuíferos para fines de riego. Y de manera alternativa, dotar del vital líquido a estas áreas con aguas tratadas provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco. Esta acción requeriría de una

fuerte inversión para traer el agua desde la planta de Atotonilco hasta los distritos de riego en todo el Valle de México. Además, se debe considerar el costo de la infraestructura para riego que se requeriría por la cancelación de pozos en las proximidades de las áreas de cultivo. Si esta acción se llevara a cabo se podrían ahorrar aproximadamente 7m^3/s de la demanda total.

3. Implantar en todas las carreras de Arquitectura e ingenierías Civil e Hidráulica de todas las universidades localizadas en el Valle de México, talleres obligatorios donde el tema único, por lo menos a lo largo de un semestre, sea el del diseño de edificaciones eficientes para el uso del agua potable. De igual forma, en las carreras de urbanismo, implementar talleres obligatorios, por al menos durante un semestre, con el tema único de planificación de colonias, barrios, alcaldías o municipios para el Valle de México considerando básicamente la problemática del agua potable y de las aguas servidas. Lo anterior produciría, en un breve lapso de tiempo, miles de profesionistas con cientos de ideas para lograr el objetivo con relación al asunto que nos ocupa, es decir, el ahorro de agua.

4. Revisar detenidamente las tarifas de cobro de agua en la CDMX y los municipios conurbados, con la finalidad de aumentar las mismas de forma significativa en función de los gastos per cápita por habitante y por hogar.

Con relación a las acciones estratégicas que diversas autoridades y/o investigadores han propuesto para afrontar esta problemática en el futuro, doy mi opinión sobre tres de ellas que considero deben planificarse e implementarse:

1. Continuar con la entrega de los sistemas Cutzamala y Lerma, mejorando su operación, pero no aumentando sus aportaciones.

2. Traer agua del acuífero del Valle del Mezquital, el cual se estima que está consolidado, para uso industrial y para riego tanto agrícola como para los espacios verdes urbanos. Desde luego, esto requeriría de una fuerte inversión en infraestructura.

3. Continuar con la exploración y extracción de agua de los acuíferos profundos del Valle de México, ya que esta estrategia, de resultar exitosa, daría un panorama muy tranquilizador para el futuro.

4. Concluir con la construcción del Acuaférico.

5. Revisar el consumo de agua de cada hogar, considerando el número de habitantes, con el fin de determinar para cada hogar una entrega máxima de 123 litros diarios por habitante. Si la cantidad estimada se rebasa, entonces considerar el cobro a partir de una tarifa mayor de acuerdo con el exceso de consumo registrado. Es decir, a mayor consumo per cápita, más alta la tarifa de cobro. Esta acción pensando en que las familias cuidarán más del agua si es que les llegase a costar más el exceso en su consumo.

6. Definir las tarifas considerando subsidios en función de la condición económica de cada hogar, y no de acuerdo con una clasificación por zonas o colonias. Esta acción evitará que familias con capacidad media o alta paguen poco. De acuerdo a lo anterior se pueden documentar miles de ejemplos. La propuesta se orienta en el sentido de que todas las familias paguen el agua, pero atendiendo a una política social que sólo apoye a los que realmente requieran de dicha ayuda. Para llevar a cabo esta propuesta se requerirá de una transformación importante de las dependencias, pues sus sistemas de información alfanuméricos y sus gráficas deberán ser cambiadas poco a poco, de manera que al cabo de unos años se produzcan contribuciones más transparentes, justas y equitativas por parte de los usuarios.

Termino anotando que ninguna de las opciones consideradas requiere traer agua desde cuencas distantes, sólo se considera la del Valle del Mezquital.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AMCM: Área Metropolitana de la Ciudad de México

ATVM: Aguas Tratadas del Valle de México

Banobras: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos

CAEM: Comisión del Agua del Estado de México

Cb(Wo) (W): Clima Templado Subhúmedo

CDMX: Ciudad de México

CIAUP: Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje

Conagua: Comisión Nacional del Agua

Conapo: Consejo Nacional de Población

DGCOH: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

FA: Facultad de Arquitectura

Fonadin: Fondo Nacional de Infraestructura

FVTM: Faja Volcánica Transmexicana

hab/ha: Habitantes por hectárea

PAI: Sistemas de Pozos Adicionales

Pemex: Petróleos Mexicano

Pl: Depósitos Lacustres del Plioceno

P.P.: Planta Potabilizadora

PSHCVM: Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México

Qla: Depósitos Lacustres del Cuaternario

Qv: Basaltos Cuaternarios

Qn: Basaltos Andesíticos

RHA: Región Hidrológico Administrativa

Sacmex: Sistema de Aguas de la Ciudad de México

Sedatu: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

Sedesol: Secretaría de Desarrollo Social

Segob: Secretaría de Gobernación

Semarnat: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SHCP: Secretaría de Hacienda y Crédito Público

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

ZMCM: Zona Metropolitana de la Ciudad de México

REFERENCIAS

AGUIRRE-DÍAZ, G.J., Y O. CARRANZA-CASTAÑEDA

2000 “Las grandes cuencas del Oligo-Mioceno del centro de México (abstract)”, *Reunión anual de la Unión Geofísica Mexicana*, Puerto Vallarta, México, Geos, vol. 20, p. 301.

ALANIZ-ÁLVAREZ, S.A., Y A. F. NIETO-SAMANIEGO

2005 “El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, volumen conmemorativo del Centenario, Grandes fronteras tectónicas de México, t. LVII, núm. 1, pp. 65-82.

ARCE, J.L., LAYER, *et al.*

2008 “Late Pleistocene flank collapse of Zempoala Volcano (Central Mexico) and the role of fault reactivation”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* núm. 177, pp. 944-958.

2013 “New constraints on the subsurface geology of the Mexico City Basin: The San Lorenzo Tezonco deep well, on the basis of 40Ar/39Ar geochronology and whole-rock chemistry”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, núm. 266, pp. 34-49.

2019 “Geology and Stratigraphy of the Mexico Basin (Mexico City), Central Trans-Mexican Volcanic Belt”, 15 (2), pp. 320-332.

BANCO MUNDIAL

2015 “Cutzamala-Diagnóstico integral (99219)”. <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/309801468189248037/Cutzamala-Diagnostico-integral>.

BANOBRAS Y SHCP

2018, “0598 PTAR Atotonilco – Proyectos México”. <https://www.proyectosmexico.gob.mx/proyecto_inversion/ptar-atotonilco/>.

BELLO, J.
2016 "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco México", *Graduate School of Design*, Cambridge, MA., Harvard University. https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/08/05_Atoltonico_SP_FinlaDocument.pdf>.

BIRKLE, P., V. TORRES-RODRÍGUEZ, E. GONZÁLEZ-PARTIDA
1998 "The water balance for the Basin of the Valley of Mexico and implications for future water consumption", *Hydrogeology Journal*, núm. 6, pp. 500-517.

BLOOMIELD, K.
1975 "A Late-Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico", *Geologische Rundschau*, núm. 64, pp. 476-497.

CAMPOS-ENRÍQUEZ, J.O., *et al*.
2015 "The Aztlán fault system: Control on the emplacement of the Chichinautzin range Volcanism, southern Mexico Basin, Mexico, Seismic and gravity characterization", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, núm. 67, pp. 315-335.

CARACOL, R. E.
2012 Conagua, obtenido de Semarnat.

CARRERA-HERNÁNDEZ, J.J. Y S.J. GASKIN
2007 "The Basin of Mexico aquifer system: regional groundwater level dynamics and database development", *Hydrogeology Journal*, 15 (8), pp. 1577-1590.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
2005 "Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos", documento presentado en IV Foro Mundial del Agua, Ciudad de México, México. Conagua. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf>.
2007 *Organismo de Cuenca del Valle de México,* Estadísticas de la Región XIII, México, Conagua.
2011 *Proyectos estratégicos*, *agua potable, drenaje y saneamiento*, México, Conagua. <https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/presentaciones_2008/SeguimientoPNI_20-10-11.pdf>.

2012 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco - Memoria documental”, Conagua. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/MEMORIAS%20DOCUMENTALES/Memoria%20Documental%20Planta%20de%20tratamiento%20de%20agus%20residuales%20de%20Atotonilco.pdf>.
2014 “Aguas del Valle de México”, México, Conagua.
2015 “Reporte Conagua”, México, Conagua.
2015 “Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea”,México, Conagua, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015.
2015 “Diagnóstico de la Región XIII Valle de México”, México, Conagua.
2017 "Proyectos estratégicos, agua potable, drenaje y saneamiento", México, Conagua. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187125/Estrat_gicos-enero-2017.pdf>.
2018 “Sistema Nacional de Información del Agua”. México, Conagua, <http://sina.conagua.gob.mx/sina/temaphp?tema=acuiferos&n=regional>.

DE CSERNA, Z., J.J. ARANDA-GÓMEZ Y L.M. MITRE-SALAZAR
1988 “Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México”, *Boletín del Instituto de Geología*, UNAM, México, núm. 104, pp. 1-71.

DEMANT, A.
1978 “Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación”, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 2, pp. 172-187.

DURAZO, J. Y R.N.FARVOLDEN
1989 “The groundwater regime of the Valley of Mexico from Historic Evidence and field observations”, *Journal of Hydrology*, núm. 112 (1-2), pp. 171-190.

ESCOLERO, O., KRALISCH S., S.E. MARTÍNEZ Y M. PEREVOCHTCHIKOVA
2016 “Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México”, *Boletín de la Sociedad geológica mexicana*, vol. 68, núm. 3, pp. 409-427. <http://www.boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/content/article/309-sitio/articulos/cuarta-epoca/6803/1585-6803-3-escolero>.

ESPINO, E.
2016 "Planeación de proyectos de PTARS", recuperado de: Espinosa, "Las Obras del Desagüe del Valle de México", en *Ingeniería Civil*, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/149681/Planeaci_n_y_gesti_n_de_proyectos_de_PTARS_Ernesto_Espino.pdf>.

ESPINOSA. L.
1902 *Descripción oro-hidrográfica y geológica del Valle de México*. <https://books.google.com.mx/books/about/lib_1_Descripci%C3%B3n_oro_hidrogr%C3%A1fica_y_g.html?id=hQ92xAEACAAJ&redir_esc=y>.

FERRARI, L., M. LÓPEZ-MARTÍNEZ, G. AGUIRRE-DÍAZ Y G. CARRASCO-NÚÑEZ, G.
1999 "Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From Sierra the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt", *Geology*, núm. 27 (4), pp. 303-306.

FERRARI, L., T. OROZCO-ESQUIVEL, V. MANEA, V. Y M. MANEA
2012 "The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone", *Tectonophysics*, núms. 522-523, pp. 122-149.

FITZ-DÍAZ, E., *et al.*
2011 "Insights into fluid flow and water-rock interaction during deformation of carbonate sequences in the Mexican Fold-Thrust Belt", *Journal of Structural Geology*, núm. 33, pp. 1237-1253.

FLORES, R.
2019 (28 febrero) "Túnel Emisor Oriente entrará en funcionamiento el 11 de julio", *Excélsior*, <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/tunel-emisor-oriente-entrara-en-funcionamiento-el-11-de-julio/1299213>.

GARCÍA-PALOMO, A., J. L. MACIAS, Y V. H. GARDUÑO
2000 "Miocene to recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, Central Mexico", *Tectonophysics*, núm. 318, pp. 281-302.

GARCÍA-PALOMO, A., J. L. MACÍAS, G. TOLSON, G. VALDEZ Y J. C. MORA
2002 "Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan región, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt", *Geofísica Internacional*, núm. 41, pp. 133-150.

GARCÍA-PALOMO, A., *et al.*
2008 "El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, núm. 25, pp. 158-178.

GAYOL, R. ING.
1965 "Breve reseña de las obras del desagüe del Valle de México", *Ingeniería civil* - Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., núm. 126, pp. 43-47.
1965 "Breves apuntes relativos a las obras de saneamiento y desagüe de la Capital de la República y de las que, del mismo género, necesita con grande urgencia", pp. 48-55.

GONZÁLEZ, R.
2012 (26 de mayo) "La mitad de los pozos de agua que hay son clandestinos". *La Jornad*a, México.

HERNÁNDEZ-ESPRIÚ, A., *et al.*
2014 "The DRASTIC-Sg model: an extension to the DRASTIC approach for mapping groundwater vulnerability in aquifers subject to differential land subsidence, with application to Mexico City", *Hydrogeology Journal*, núm. 22 (6), pp. 1469-1485, Springer Verlag.

HUIZAR-ALVAREZ, R., J. J. CARRILLO-RIVERA, T. HERGTS, A. SERRANO Y A. C. CARDONA
2004 "Chemical response to groundwater abstraction southeast of Mexico City", núm. 12 (4), pp. 436-450

LEGORRETA, J.
2006 "El agua y la Ciudad de México", Ciudad de México, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

LESSER Y ASOCIADOS
2003 "Piezometría del Valle de México, año 2003 (Piezometric records of the Valley of Mexico, year 2003)", Sistema de Aguas de la Ciudad de Mexico, Tech. report, Querétaro, México.

LESSER. J. M. Y D. GONZÁLEZ
2005 “El agua subterránea en la Ciudad de México”, en: *Memorias del V Congreso de Aguas Subterráneas*, Hermosillo, Son., Asociación Geohidrológica Mexicana. Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt, Geology, núm. 27, pp. 303-306.

MARROQUÍN, M.
1965 “Obras de Provisión de Aguas Potables para la ciudad de México”, *Ingeniería Civil*, Órgano oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., núm. 126, pp. 18-22.

MARROQUIN-RIVERA, J.
1914 “Memoria de las obras de aprovisionamiento de agua potable a la Ciudad de México (Memory of the water supply works for Mexico City)”, Ciudad de México, Impresora Müller Hermanos.

MARSAL Y MAZARI
1959 “El Subsuelo de la Ciudad de México”, México, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

MAZARI, M. Y J. ALBERRO
1990 “Hundimiento de la ciudad de México (The sinking of Mexico City", en: *Problemas de la Cuenca de México* (Problems in the Basin of Mexico), Ciudad de México, El Colegio de México, pp 83-114.

MEJIA, V., *et al.*
2005 “Paleosecular variation and time-averaged field recorded in late Pliocene-Holocene lava flows from Mexico”, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, núm. 6, pp. 1-19.

MIJARES, MARTHA
2019 (noviembre 14) “El reto del agua para el Valle de México, cada vez mayor”, *Vértigo Político*, <http://www.vertigopolitico.com/articulo/63813/-.MEXICO-CADA-VEZ-MAYOR >.

MOOSER, F., Y A. MOLINA
1993 “Nuevo modelo hidrogeológico para la Cuenca de México (New hydrogeological model for the Basin of Mexico)”, *Boletín del Centro de Investigación Sísmica* Fundacion Barros Sierra, núm. 3 (1), pp. 68-48.

MOOSER, F., A. MONTIEL Y A. ZÚÑIGA
1996 “Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. *Estratigrafía tectónica regional y aspectos geotérmicos* (New gelogical map for the Basins of Mexico, Toluca and Puebla)”. Ciudad de México, Comisión Federal de Electricidad.

MOOSER, F.
1963 “Historia tectónica de la Cuenca de México”, *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, núm. 15, pp. 239-245.

NORINI, G., G. GROPPELLI, A. M. F. LAGMAY Y L. CAPRA
2006 “Recent left-oblique slip faulting in central Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamic implications”, *Tectonics*, núm. 25, TC4012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC)
1995 “Mexico City’s water supply: improving the outlook for sustainability”, Washington, D. C., National Academy of Sciences.

OLIVAS, J.C.
2012 “Tenochtitlán; ciudad de aguas”, *Casiopea*, <https://wiki.ead.pucv.cl/Archivo:Ciudad_de_Aguas_Tenochtitlan_-_JC_Olivas.pdf>.

ORTEGA, A., FARVOLDEN, R.N.
1989 “Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the basin of Mexico”, *Journal of Hydrology*, núm. 110, pp. 271-294.

OSETE, M.L., *et al.*
2000 “Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: Paleomagnetic and radiometric evidence”, Tectonophysics, núm. 318, pp. 201-215.

PÉREZ-CRUZ, G.A.

1976 “Memoria acerca de las obras e inundaciones en la ciudad de México”. D.F., México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. Proyectos Estratégicos de agua potable, d. y. (20 de octubre de 2011). CMIC. Obtenido de Gerencia de Estudios y Proyectos de agua potable y redes de alcantarillado.

1988 “Estudio sismológico de reflexión del subsuelo de la Ciudad de México”, tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, p. 83.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CARACOL

2013 (29 de mayo) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Caracol”. <http://ptarelcaracol.blogspot.com>

SANTOYO VILLA, E., OVANDO SHELLEY, E., MOOSER, F., LEÓN PLATA, E.

2005 “Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México", México”, TGC.

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL

2012 “Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2012”, Sedesol.

SECRETARIA DE GOBERNACIÓN

2002 “El Poblamiento en México”, México.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

2006 Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco, <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-19-11.pdf>.

2012 <sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/resúmenes/2012/15EM2012H0018>.

SECRETARIA DE TRANSPORTE Y VIALIDAD

2016 “Vialidad Primaria en el D.F.”, México.

SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

2012 “Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 años”, México, <http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/PGIRH_Fina.pdf>.

2019 “El Gran Reto del Agua en la Ciudad de México”, México. <http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/ElGranRetodelAgua_enla_CiudadMexico.pdf>.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, E., JAIMES-PALOMERA, R.
1989 "Geología de la Cuenca de México", *Geofísica Internacional*, núm. 28, pp. 133-174.

ZORITA, A. Y J. POMAR
1941 *Relaciones de Texcoco y de la Nueva España*. México, Editorial Salvador Chávez Hayhoe.

Referencias electrónicas

https://www.acciona.com/es/salaprensa/noticias/2012/septiembre/acciona-construira-la-segunda-depuradora-de-la-ciudad-de-mexico/

https://www.acciona-agua.com/es/salaprensa/a-fondo/2018/julio/la-edar-de-atotonilco-m%C3A9xico-lamayor-planta-de-tratamiento-de-aguas-resuduales-del-mundo-cumple-un-a%C3%B1o-desde-su-puesta-en-marcha/

https: //www.pinterest.com.mx/pin/575546027356082174

https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-cuauhtemoc/

https://cronicasdeasfalto.com/la-colonia-obrera-narrada-por-sus-habitantes/

https://mxcity.mx/2016/03/breve-repaso-la-historia-del-barrio-magico-santa-julia/

https://www.yaconic.com/colonia-guerrero-fotos/

http://tintaroja.com.mx/BajaPDF.php?id=35

https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia_San_Rafael

https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia_Doctores

http://CDMXtravel.com/es/experiencias/la-maravillosa-historia-de-la-colonia-roma.html

https://www.maspormas.com/ciudad/colonia-roma-en-el-tiempo/

https://www.dondeir.com/ciudad/la-juarez-conoce-la-historia-de-esta-colonia-de CDMX/2018/03/

https://www.altonivel.com.mx/opinion/santa-maria-la-ribera-barrio-CDMX/

https://es.wikipedia.org/wiki/Colonia_Condesa_(Ciudad_de_M%C3%A9xico)

https://es.wikipedia.org/w/index.php?search=colonia+valle+gomez&title=Especial%3ABuscar&go=Ir&ns0=1&-

https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-valle-gomez/

https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-felipe-pescador/

https://en.wikipedia.org/wiki/Colonia_Felipe_Pescador

https://es.wikipedia.org/wiki/Romero_Rubio_(estaci%C3%B3n)

https://noticieros.televisa.com/videos/origen-colonia-romero-rubio/

https://www.eluniversal.com.mx/tag/colonia-romero-rubio

https://es.wikipedia.org/wiki/Tepito

https://alcaldiacuauhtemoc.mx/descubre/colonia-morelos/

https://en.wikipedia.org/wiki/Colonia_Morelos

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110933/Cutzamala_Diagnostico_integral_parte_1.pdf Cutzamala.

https://es.scribd.com/document/393504447/Ptars-conagua

https://ptarelcaracol.blogspot.com/

https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2016/21/6/06481445e10ef7c983412a44409dbe0f.pdfn

http://infraestructura.ingenet.com.mx/2009/10/presa-madin/

https://www.google.com/search?q=capacidad+presa+madin&oq=capacidad+presa+madin&aqs=chrome..69i57.16581j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8.